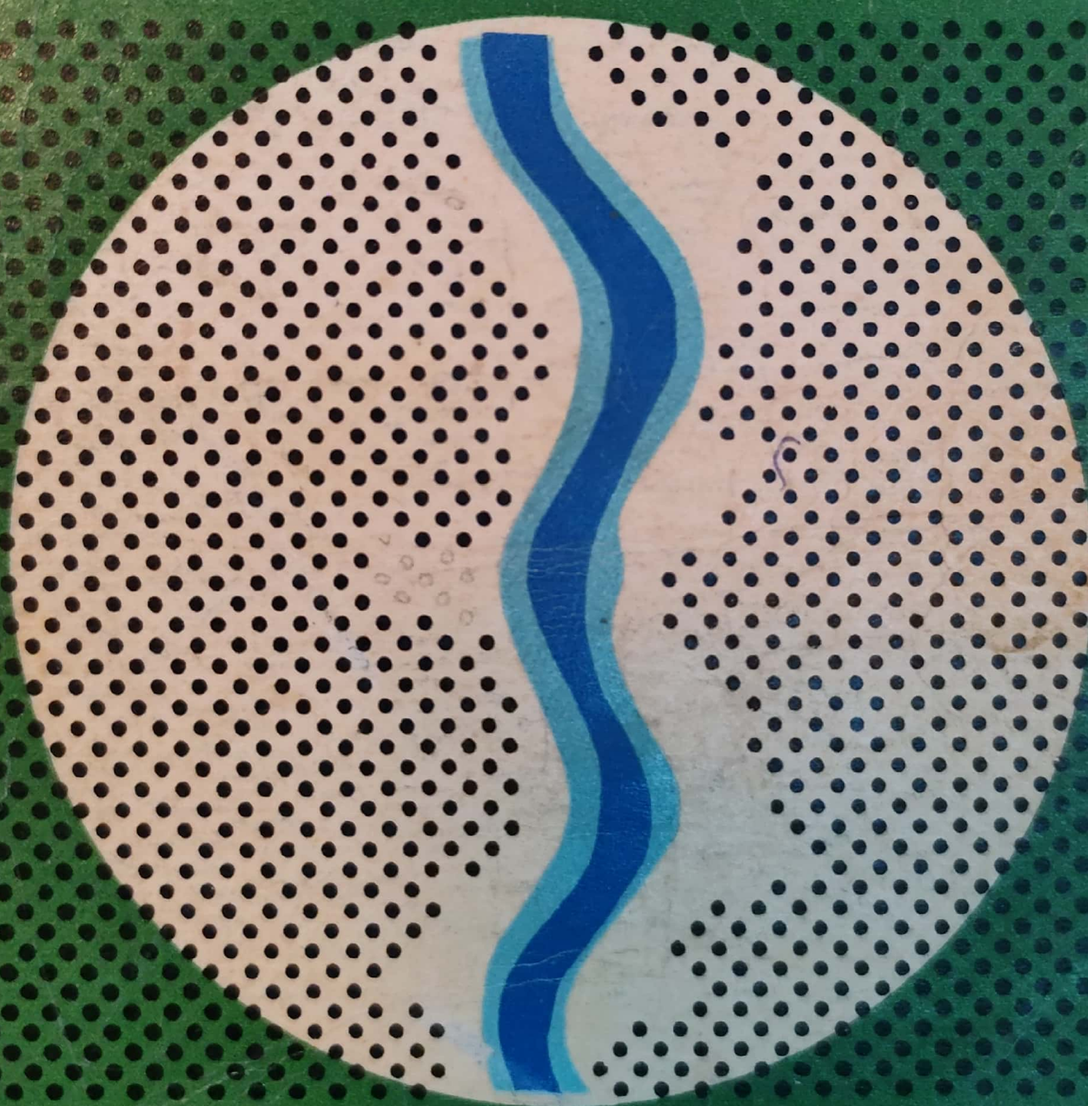
Regularizarea albiilor rîurilor

HÂNCU SIMION



editura ceres



Prof. dr. doc. ing. SIMION HÂNCU

S. Hâncu
Iași 16-III-1977

Regularizarea albiilor rîurilor



Editura Ceres
București
1976

Prefață

În activitatea hidrotehnică din țara noastră regularizarea albiilor rîurilor ocupă ca importanță și amploare unul din locurile principale. În Programul național de amenajare în perspectivă a bazinelor hidrografice din R.S.R., aprobat de Marea Adunare Națională în sesiunea din aprilie 1976, se prevede realizarea de lucrări de regularizare complexă a albiilor rîurilor pe o lungime de cca. 13 000 km. Aproape jumătate din totalitatea acestor lucrări de regularizare a albiilor rîurilor se va realiza pînă în anul 1990. La acestea se vor adăuga lucrări de refacere și întreținere la digurile și construcțiile de regularizare existente, lucrări cu caracter local ș.a.

Asociate cu lacurile de acumulare, cu derivațiile și cu lucrările de corectare a torenților și de combatere a eroziunii solului pe versanți, îndiguirile și regularizările de albii îmbunătățesc substanțial condițiile de curgere a apelor în rețeaua hidrografică. Conform prevederilor Programului național de amenajare a bazinelor hidrografice, prin aceste lucrări va fi rezolvată problema apărării de inundații a localităților și terenurilor agricole, vor fi puse în valoare importante suprafețe de teren astăzi nefolosite sau slab folosite, vor fi stăvilite fenomenele de eroziune a malurilor ș.a.

Investițiile deosebit de mari pe care le reclamă lucrările de îndiguire și de regularizare a albiilor rîurilor, condițiile dificile de realizare și întreținere a acestor lucrări ne obligă la găsirea celor mai eficiente soluții tehnice și economice.

În publicația de față sînt tratate succint unele din principalele probleme care se pun la proiectarea, execuția și exploatarea lucrărilor de regularizare a albiilor rîurilor. Publicația fiind de volum redus, autorul nu a urmărit o tratare echilibrată a problemelor abordate; dimpotrivă, a preferat să insiste asupra unor aspecte privind

hidraulica lucrărilor de regularizare a albiilor rîurilor, propunînd soluții și metode noi de calcul. După părerea autorului, proiectarea și executarea corectă a lucrărilor de regularizare a albiilor rîurilor depind, în cea mai mare măsură, de cunoașterea și rezolvarea problemelor de hidraulică a acestor lucrări, a problemelor de hidrologie și hidraulică a rîurilor.

Autorul consideră că publicația de față își va atinge scopul dacă soluțiile și metodele noi de calcul propuse vor căpăta o largă răspîndire și vor conduce la rezultatele scontate.

Autorul

Introducere

Prin lucrări de regularizare a albiilor rîurilor se înțeleg atît lucrările de corectare, rectificare și stabilizare a albiilor minore, cît și lucrările de îndiguire sau de amenajare și sistematizare a albiilor majore, în scopul îmbunătățirii condițiilor de curgere și apărării împotriva acțiunii distructive a apelor (inundații, eroziuni, împotmoliri etc.). Nu se includ sub această denumire lucrările de regularizare a scurgerii pe versanți, sau lucrările de regularizare a debitelor de apă prin acumulări, deși ambele tipuri de lucrări și lucrările de regularizare a albiilor rîurilor se influențează reciproc și trebuie analizate împreună, ori de cîte ori intervin pe același rîu sau în același bazin hidrografic.

Publicația de față se limitează la lucrările de regularizare a albiilor rîurilor, iar pentru celelalte tipuri de lucrări se fac trimiteri la publicațiile corespunzătoare de specialitate.

În țara noastră aproape că nu există rîu care, cel puțin pe anumite sectoare, să nu fi necesitat sau să nu necesite lucrări de regularizare în albia minoră sau și în albia majoră. În stare naturală rîurile pot fi folosite doar parțial. De foarte multe ori în stare naturală ele aduc necazuri, uneori calamități, provocînd pagube importante economiei naționale.

Prin lucrări de regularizare a albiilor, rîurile sînt obligate să curgă pe un traseu dat și cu o secțiune dată. Dar geometria albiei rîurilor nu poate fi aleasă oricum. Trebuie respectate anumite legi, anumite relații între mărimile fizice care intervin în curgerea apei pe rîuri, precum și în interacțiunea între curentul de apă și patul aluvionar al albiei sau în interacțiunea între curentul de apă și construcțiile din albie. Deși fenomenul curgerii apei pe rîuri și al formării albiilor rîurilor este foarte complex, totuși cunoștințele de astăzi permit formularea cu aproximații acceptabile pentru practică a acestor legi și relații necesare dimensionării și exploatării lucrărilor de regularizare a albiilor rîurilor. De aceea, în publicația de față se insistă mai mult asupra acestor legi și relații a căror însușire

conferă garanția unei înțelegeri și aplicării corecte a soluțiilor și tipurilor de lucrări de regularizare a albiilor rîurilor.

Spațiul nu permite să fie tratate, fie și succint, toate problemele care trebuie rezolvate la proiectarea, execuția și exploatarea lucrărilor de regularizare a albiilor rîurilor. Din acest motiv, publicația de față trebuie folosită împreună cu alte lucrări de specialitate.

Primul capitol are un caracter de introducere în noțiunile generale de hidrologie și hidraulică a albiilor rîurilor. În acest capitol se insistă doar asupra unor cunoștințe care se găsesc mai greu în literatura de specialitate sau care constituie contribuția autorului, cum ar fi determinarea regimului de curgere a apelor mari pe rîuri, modificat de îndiguiri.

Al doilea și al treilea capitol cuprind elemente privind procesele de albie și constituie capitole de bază în înțelegerea interacțiunii între curentul de apă și patul albiei. Teoria proceselor de albie se mai numește, în unele țări de limbă engleză, și „teoria regimului". În accepțiunea de pînă acum „teoria regimului" înseamnă de fapt o expunere de relații morfometrice *empirice*, nelegate de teoria mișcării aluviunilor și nici de hidraulica cursurilor de apă. În publicația de față relațiile din teoria antrenării și mișcării aluviunilor, relațiile hidraulicii cursurilor de apă și relațiile morfometrice formează o unitate, ultimile fiind o consecință a primelor două și a principiului disipării minime a energiei curentului. În felul acesta hidraulica albiilor, teoria mișcării aluviunilor și teoria fenomenelor morfologice din albiile stabile ale rîurilor conturează și mai bine disciplina nou formată — dinamica albiilor rîurilor.

Contribuția autorului constă în exprimarea analitică a principiului disipării minime a energiei curentului în albii cu pat mobil și în obținerea pe baza acestui principiu a relațiilor morfometrice privind profilul longitudinal stabil (criteriul de stabilitate generală), profilul transversal stabil și traseul stabil al albiilor rîurilor. Structura relațiilor morfometrice obținute și valorile rezultate pentru coeficienții morfometrici concordă cu datele din observații și măsurători. Este posibil ca în viitor și alte relații morfologice să fie obținute cu ajutorul acestui principiu.

În capitolele 4 și 5 ale lucrării se prezintă metodele de regularizare a albiilor rîurilor, bazate pe teoria proceselor de albie și pe datele din calcule privind regimul hidrologic modificat de curgere a apelor mari, expuse în capitolele precedente.

S-a considerat că metodele simple de regularizare a albiilor rîurilor stau la îndemîna organizațiilor, întreprinderilor și unităților locale, teritoriale, care pot interveni rapid pentru stăvilirea unor

procese de albie nefavorabile pe rîurile din zonă, înlăturînd astfel pericolul unor însemnate pagube materiale.

Autorul s-a oprit mai mult asupra unora din tipurile cele mai eficiente și mai frecvente de lucrări de regularizare a albiilor rîurilor și anume asupra epiurilor. Modelul de calcul al cinematicii curgerii în zona epiului a făcut obiectul unor cercetări de durată din partea autorului și a unui grup de colaboratori.

În această lucrare relațiile de calcul obținute sînt folosite la dimensionarea atît a unui epiu izolat, cît și a unui grup de epiuri.

De asemenea, autorul prezintă rezultatele proprii privind calculul hidraulic al lucrărilor de regularizare a albiilor rîurilor în zona podurilor.

În capitolul 6 se enumeră studiile topografice, geotehnice, hidrologice și hidraulice necesare proiectării și execuției lucrărilor de regularizare a albiilor rîurilor. Desigur, volumul acestor studii se stabilește de la caz la caz.

Capitolul 7 conține cîteva indicații sumare asupra executării și întreținerii lucrărilor de regularizare a albiilor rîurilor.

1. Elemente de hidrologie și hidraulică necesare proiectării, execuției și exploatării lucrărilor de regularizare a albiilor rîurilor

1.1. Clasificarea rîurilor

Sînt mai multe criterii după care se pot clasifica rîurile. Se adoptă acelea care interesează îndeosebi proiectarea, execuția și exploatarea lucrărilor de regularizare a albiilor rîurilor și care impun diferențierea soluțiilor tehnice ale acestor lucrări. Astfel de criterii pot fi: regimul curgerii, stabilitatea albiei, inundabilitatea la ape mari și mărimea rîului.

După *regimul curgerii*, rîurile pot fi împărțite în următoarele categorii:

— rîuri de munte, cu regim torențial de curgere, cu viteze mari ale curentului de apă, de ordinul de 3—5 m/s, cu variații bruște de debit în timpul viiturilor și cu material aluvionar tîrît de diametre mari, de ordinul d=50—500 mm; albia rîurilor de munte este slab meandrată, îngustă și cu pantă accentuată a profilului longitudinal;

— rîuri de deal, cu regim semitorențial, cu viteze de curgere de ordinul a 2—3 m/s, cu material aluvionar tîrît avînd diametrul de ordinul d=10—250 mm;

— rîuri de șes, cu regim lent de curgere, cu viteze sub 2 m/s, cu variații relativ lente ale debitului în timpul viiturilor și cu material aluvionar tîrît mărunt și fin cu diametrul $d \simeq 10-15$ mm; albia rîurilor de șes este în general compusă din albie minoră și albie majoră, albia minoră fiind de cele mai multe ori meandrată, despletită în brațe, cu pantă redusă a profilului longitudinal.

Regimul curgerii impune alegerea unui anumit tip de lucrări de regularizare și anumite materiale din care să se confecționeze lucrările de regularizare. Astfel, nu se vor adopta lucrări de tip ușor pentru regularizarea albiilor rîurilor de munte, după cum nu este rațional să se adopte ziduri de sprijin din piatră zidită, la rîuri de șes.

După *stabilitatea albiei*, rîurile pot fi împărțite în:

— rîuri cu albie stabilă, înțelegînd prin albii stabile, albiile rîurilor care se modifică foarte lent în timp, modificările de la un an la altul sau de la o viitură la alta fiind nesesizabile;

— rîuri cu albie instabilă, care își păstrează în general traseul de la o viitură la alta, dar la care se produc modificări prin eroziuni și depuneri ale liniei malurilor în decurs de 1—2 sau mai multor viituri;

— rîuri cu albie foarte instabilă, care își modifică nu numai linia malurilor, dar și traseul, numărul de brațe de la o viitură la alta (de exemplu, rîul Siret pe cursul inferior).

Lucrările de regularizare a albiei minore a rîurilor se execută în special pe rîurile cu albie instabilă, în vederea apărării unor obiective importante, stabilizării albiei sau creării unui nou traseu, obligat. Soluția se adaptează la specificul rîului și ține seama de evoluția probabilă a albiei în prezența lucrărilor de regularizare.

În cazul rîurilor cu albie stabilă, lucrările de regularizare a albiilor minore pot fi lucrări de corectare a malurilor albiei sau de deviere a traseului existent. Solicitările la care sînt supuse lucrările de regularizare a albiilor rîurilor din partea curentului pot fi diferite la rîuri cu albie stabilă față de rîurile cu albie instabilă.

După *inundabilitatea la ape mari* rîurile pot fi împărțite în două mari categorii:

— rîuri cu albie majoră, inundabilă la ape mari, avînd efect de antrenare a undelor de viitură și participînd la curgere, mărind astfel capacitatea de transport a rîului la ape mari și

— rîuri fără albie majoră, la care curgerea apelor atît la debite mici, cît și la debite mari are, practic, același caracter, și care prezintă o variație lentă a caracteristicilor geometrice în secțiune prin trecerea de la o cotă la alta (lățime, rază hidraulică, secțiune, rugozitate).

Albia majoră se mai numește și luncă; în mai multe cazuri curgerea apelor în luncă este foarte diferită de curgerea apelor în albia minoră.

În general, rîurile fără albie majoră se întîlnesc mai mult în zona de munte, pe cînd rîurile cu albie majoră se întîlnesc mai mult în zona de șes.

Îndiguirile se realizează pentru apărarea împotriva inundațiilor a terenurilor și a obiectivelor situate în albia majoră.

După *mărimea suprafeței bazinului de recepție*, rîurile se împart în două sau mai multe categorii:

— rîuri mici, la care suprafața bazinului de recepție are aceeași formă de relief și poate fi acoperită în întregime de o aversă, și

— rîuri mari, la care se manifestă o tendință de compensare a scurgerii lichide și solide, datorită aportului afluenților situați în zone fizico-geografice diferite.

Pe rîurile mici lucrările de regularizare sînt de volum mai mic, sînt mai ușor de executat, dimensiunile albiei și mărimea debitului permițînd realizarea lor într-un timp mai scurt și cu mijloace obișnuite. Durata viiturilor este mult mai redusă în raport cu durata viiturilor pe rîurile mari, ceea ce creează condiții favorabile încheierii lucrărilor în același sezon în care au fost începute.

Clasificarea prezentată se referă la sectoare de rîu și nu la rîuri considerate în întregime, de la izvoare la vărsare. Ea are un caracter descriptiv și este, într-o măsură mai mică sau mai mare, convențională. Nu se pot da criterii cantitative, care să permită o delimitare netă a unei categorii de altă categorie. De exemplu, noțiunea de rîu mic este imprecisă și delimitarea rîurilor mici de rîurile mari după criteriul formei de relief și după efectul unei averse asupra formării scurgerii poate stîrni discuții. Chiar și noțiunea de torențialitate este considerată în sens larg, hidrologic. În hidraulică, regimul torențial al unui curent este regimul rapid, care se recunoaște după valoarea numărului Froude ($Fr<1$). Rîurile din zona de munte este greu să se clasifice după valoarea numărului Froude, întrucît acest parametru definindu-se în secțiune, într-o secțiune poate avea o valoare subunitară, iar în altă secțiune—supraunitară. În plus, chiar și în aceeași secțiune numărul Froude poate varia cu debitul.

Dar pentru proiectarea, execuția și exploatarea lucrărilor de regularizare a albiilor rîurilor, inexistența unor delimitări cantitative în clasificarea rîurilor nu are mare importanță, pentru că și lucrările de regularizare la rîndul lor nu suportă o clasificare netă și o delimitare cantitativă netă pe tipuri și soluții.

1.2. Elemente privind regimul hidrologic natural de curgere a apelor pe rîuri

Factorii climatici (ploile, zăpada, evapotranspirația), factorii fiziografici (suprafața și forma bazinului hidrografic, relieful, rețeaua hidrografică, vegetația, caracteristicile solului și geologia bazinului hidrografic etc.) și factorul antropic (intervenția omului cu diverse lucrări și amenajări în bazinul hidrografic) determină un anumit regim de curgere a apelor pe rîuri numit și regim hidrologic. Pe un sector dat de rîu regimul de curgere se caracterizează

prin variaţia debitelor şi nivelurilor apei, prin mărimea şi frecvenţa debitelor şi nivelurilor, prin mărimea şi variaţia vitezei medii, prin mărimea şi variaţia pantei suprafeţei libere a apei, prin transportul de aluviuni şi formaţiunile morfologice din albie, prin evoluţia geometriei albiei ş.a.

Regimul hidrologic natural de curgere a apelor pe rîuri, pe scurt *regimul natural*, este caracteristic acelor rîuri care nu au suferit influenţa omului nici în ceea ce priveşte condiţiile de formare a scurgerii lichide şi solide în bazinul hidrografic şi nici în ceea ce priveşte curgerea lichidă şi solidă şi interacţiunea acesteia cu patul albiei pe reţeaua hidrografică.

În această accepţiune regimul natural pe rîurile din ţara noastră astăzi aproape că nu există, pentru că omul în decursul timpului a acţionat asupra factorilor fiziografici de formare şi producere a scurgerii (defrişarea pădurilor sau împăduriri, căi de comunicaţie, centre orăşeneşti, agricultura pe versanţi, lucrări antierozionale, lucrări hidrotehnice în albiile rîurilor etc.). Totuşi, în cazul în care nu sînt realizate lucrări hidrotehnice în bazinul hidrografic cu efect expres hidraulic, se consideră că pe rîul respectiv se păstrează regimul natural.

În cazul în care în bazinul hidrografic s-au realizat lucrări hidrotehnice, regimul hidrologic de curgere se numeşte *regim modificat actual* şi conţine efectul hidraulic al lucrărilor hidrotehnice existente.

Se defineşte simplu regimul modificat (*sau amenajat*) regimul hidrologic de curgere pe rîuri la o situaţie corespunzătoare unor lucrări de amenajare hidrotehnică ipotetică sau în perspectivă. Evident, regimul modificat şi uneori chiar şi regimul modificat actual sînt regimuri prognozate pe bază de calcule hidrologice şi hidraulice.

În unele cazuri, pentru aprecierea modificărilor produse de lucrările hidrotehnice propuse asupra regimului natural, se defineşte şi *regimul fictiv* de curgere a apelor pe rîu, care corespunde regimului natural, în condiţiile în care rîul nu ar avea albie majoră. De obicei, regimul fictiv este definit numai pentru debite şi pentru hidrografele debitelor şi din acest motiv regimul fictiv comparat cu cel natural ne dă efectul luncii de atenuare a viiturilor.

Nu este posibil să se analizeze în cadrul acestei publicaţii toate mărimile care caracterizează regimurile de curgere pe sectoarele de rîu. Cei interesaţi pot consulta publicaţiile [8], [19], [32].

Vor fi menţionate doar cîteva date care caracterizează regimul hidrologic de curgere a apei pe rîuri şi care interesează lucrările de

regularizare a albiilor rîurilor.

Curbele de regim ale debitelor și nivelurilor de apă pe rîuri cu scurgere continuă, respectiv hidrografele $Q=Q(t)$ și $H=H(t)$ care exprimă variația în timp a acestor mărimi și care în general diferă de la o secțiune la alta.

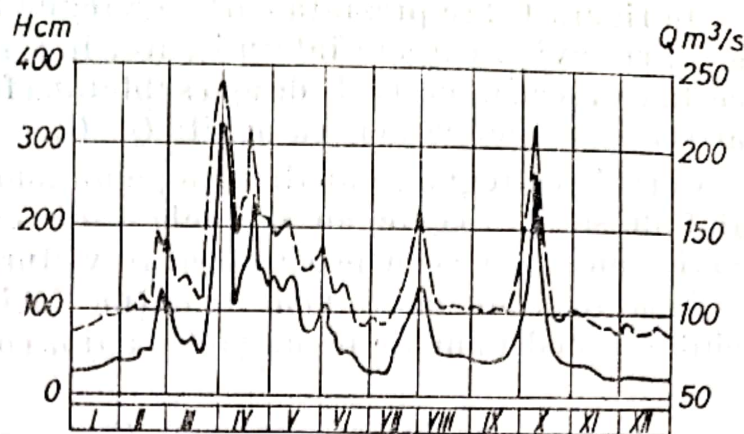


Fig. 1.1 — Curbele de regim al nivelurilor și debitelor pe un rîu cu scurgere continuă

În figura 1.1. se prezintă curbele de regim al debitelor și nivelurilor pe un rîu pentru care viiturile sînt specifice anotimpului de primăvară, cînd ploile se suprapun peste topirea zăpezilor, și anotimpului de toamnă, cînd ploile au un caracter de durată.

Pot apare viituri și în anotimpul de vară, ca urmare a unor ploi torențiale.

Pe rîurile din țara noastră pot apare viituri mari în orice anotimp al anului, cu excepția anotimpului de iarnă, cînd datorită temperaturilor scăzute precipitațiile se transformă în zăpadă. Astfel, viiturile din anul 1970 s-au produs primăvara, cele din 1972 — toamna, iar cele din 1975 — în plină vară.

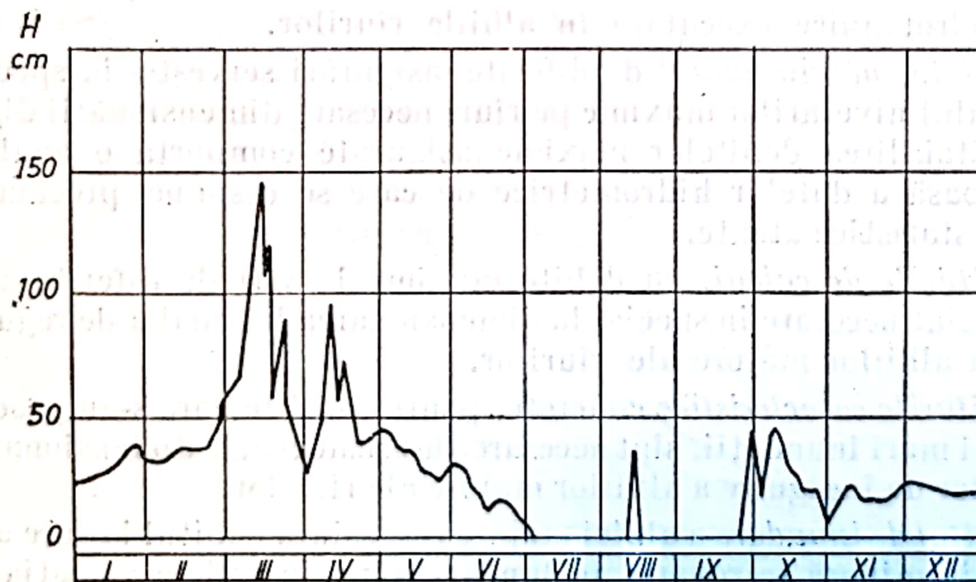


Fig. 1.2. — Curba de regim al nivelurilor pe un rîu cu scurgere intermitentă

În figura 1.2 se prezintă curba de regim a nivelurilor ($H=H(t)$) pe un rîu avînd curgere intermitentă, în sensul că în perioadele de secetă rîul seacă, rezervele de apă subterană fiind insuficiente pentru întreținerea unei curgeri cu debite $Q>O$.

Curbele de regim se analizează pe un număr mare de ani, determinîndu-se în fiecare an debitele caracteristice: mediu, minim, maxim anual, maxim pentru fiecare viitură.

Debitul mediu multianual se obține făcînd media aritmetică a debitelor medii anuale pe un șir de ani n consecutivi:

$$Q_o = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i}{n} \tag{1.1}$$

unde:

Q_i este debitul mediu al anului i.

Pentru lucrările de regularizare a albiei rîurilor debitul Q_0 poate fi calculat și cu oarecare aproximație, întrucît acest debit servește la determinarea nivelului apelor medii necesar în diferențierea pe verticală a lucrărilor de regularizare.

În lipsă de date hidrometrice directe se pot folosi relații empirice sau de sinteză.

Debitul minim de diferite asigurări se calculează cu metode statistice, folosind șirul debitelor minime anuale. Debitul minim servește la determinarea nivelului minim al apei în albiile rîurilor, respectiv la stabilirea cotelor minime de acoperire cu apă a lucrărilor hidrotehnice executate în albiile rîurilor.

Debitul maxim anual de diferite asigurări servește în special la calculul nivelurilor maxime pe rîuri necesare dimensionării digurilor. Stabilirea debitelor maxime asigurate comportă o analiză minuțioasă a datelor hidrometrice de care se dispune precum și calcule statistice atente.

Viiturile de calcul, cu debite maxime la vîrf de diferite asigurări, sînt necesare în special la dimensionarea lucrărilor de regularizare a albiilor majore ale rîurilor.

Viiturile caracteristice concrete, pentru anii în care s-au produs cele mai mari inundații, sînt necesare, de asemenea, la dimensionarea lucrărilor de îndiguire a albiilor majore ale rîurilor.

Debitul de inundare a albiei majore reprezintă debitul la care apa din albia minoră se revarsă în luncă. Avînd în vedere variația în lungul rîului a cotei malurilor albiei minore, debitul de inundare diferă de la o secțiune la alta.

Debitul de inundare serveşte la dimensionarea lucrărilor din albia majoră.

Debitul de formare a albiei este debitul cuprins parţial în albia minoră. Valoric acest debit corespunde debitului maxim de inundare a albiei majore, în frecvenţă de 5—10%.

Date cu privire la aluviuni şi elemente de morfometrie a albiei sînt necesare stabilirii traseului şi secţiunii albiei regularizate. Asupra acestor date şi asupra folosirii lor se va reveni în capitolele care urmează.

1.3. Calculul regimului hidrologic al curgerii pe rîuri modificat prin îndiguirea albiilor majore

Îndiguirile modifică regimul de curgere a apelor mari pe rîuri. În principal aceste modificări se datoresc pe de o parte reducerii secţiunii de curgere a apelor prin albia majoră, pe de altă parte reducerii efectului pe care îl au luncile albiilor rîurilor în atenuarea viiturilor.

Forma undei de viitură, respectiv hidrograful debitelor şi hidrograful nivelurilor, va fi alta în regim îndiguit decît în regim natural. În regim îndiguit viteza medie a curentului în albie creşte, prin urmare timpul de propagare a viiturii se reduce. Acest lucru face ca în aceeaşi secţiune viitura să ajungă mai repede în regim îndiguit decît în regim natural. Debitul maxim al viiturii se măreşte, datorită scoaterii de sub inundaţie a suprafeţelor care permiteau atenuarea viiturii. Cum volumul de apă al viiturii, în general, se menţine acelaşi, se reduce corespunzător durata viiturii.

În figura 1.3 se prezintă schematic forma undei de viitură (hidrograful debitelor) în aceeaşi secţiune de rîu, în regim natural şi în

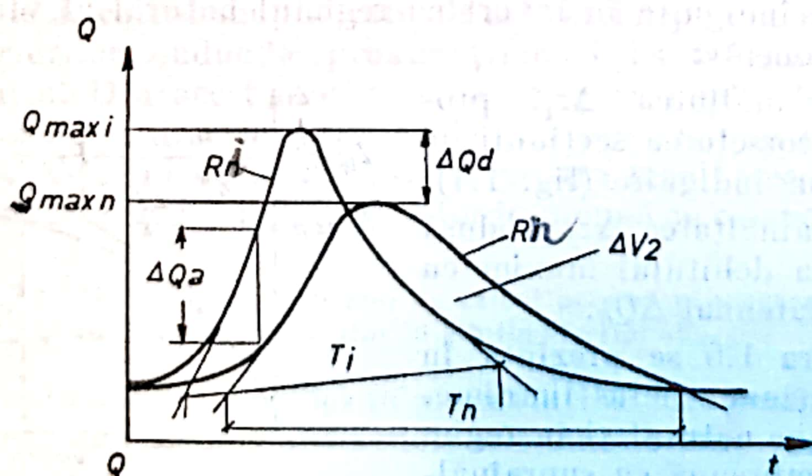


Fig. 1.3 — Hidrografele debitelor în aceeaşi secţiune: R_n — regim natural; R_i — regim îndiguit

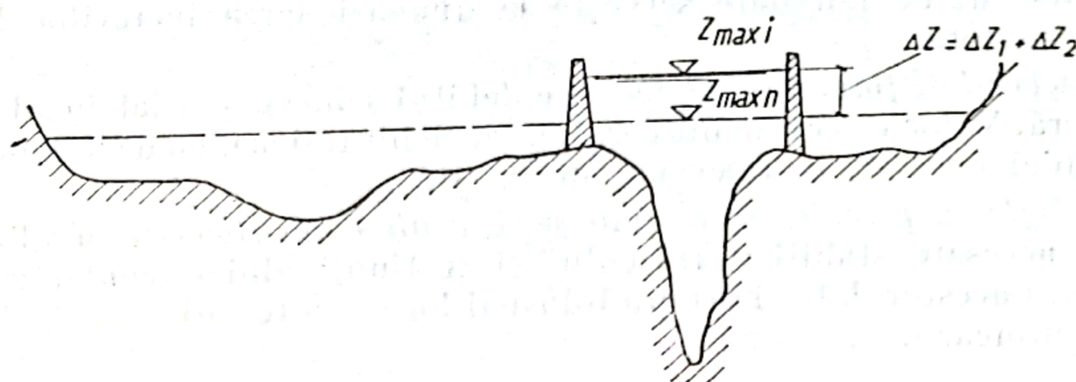


Fig. 1.4 — Incorsetarea secțiunii de curgere prin îndiguire

regim îndiguit. În regim îndiguit debitul $Q_{max\ i}$ este superior celui corespunzător regimului natural $Q_{max\ n}$ cu cantitatea ΔQ_d. Sporul de debit ΔQ_d se numește *debit dezatenuat* de îndiguirea albiei majore sau *debit atenuat* în regim natural pe suprafața care se propune a fi scoasă de sub inundație prin îndiguire.

Diferența pozitivă ΔQ_a între debitul în regim îndiguit Q_i și debitul în regim natural Q_n este *debitul acumulat* în regim natural pe suprafața îndiguită. Este important să nu se confunde debitul acumulat cu debitul atenuat. ΔQ_a se calculează la același moment t, pe cînd ΔQ_d este diferența între $Q_{max\ i}$ și $Q_{max\ n}$, fiecare avînd loc la momente diferite.

Evident, sporul de debit ΔQ_d, conduce la creșterea nivelului maxim al apei în regim îndiguit. Sporul de debit ΔQ_d este dat de scoaterea de sub inundație a unor suprafețe de teren din luncă. Dar creșterea nivelului apei se datorește și încorsetării secțiunii de curgere prin îndiguire. Prin urmare, supraînălțarea de nivel Δz produsă de îndiguire în raport cu regimul natural al viiturii are două componente:

— supraînălțarea Δz_1, produsă de încorsetarea secțiunii de curgere prin îndiguire (fig. 1.4);

— supraînălțarea Δz_2 produsă de creșterea debitului maxim cu debitul dezatenuat ΔQ_d.

În figura 1.5 se prezintă în aceeași secțiune cheile limnimetrice în regim natural și în regim îndiguit, împreună cu supraînălțarea de nivel Δ_z și componentele ei Δz_1 și Δz_2.

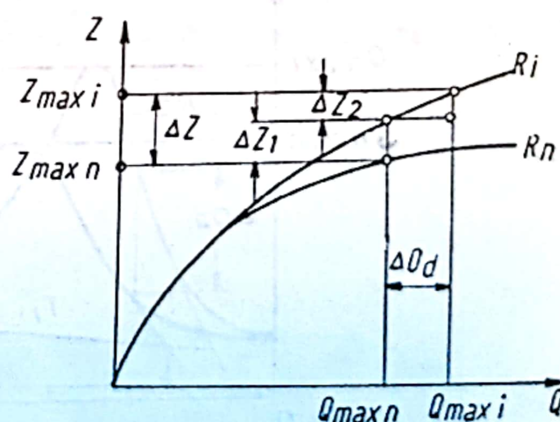


Fig. 1.5 — Chei limnimetrice: R_n — regim natural; R_i — regim îndiguit

Avem: $$\Delta z = \Delta z_1 + \Delta z_2 \tag{1.2}$$

În cazul unor suprafeţe reduse îndiguite, cînd se poate neglija ΔQ_d, rezultă:

$$\Delta z = \Delta z_1 \tag{1.3}$$

Într-o secţiune oarecare sporul de debit ΔQ_d este dat de îndiguirile din amonte, pe cînd supraînălţările de nivel Δz_1 sînt date de îndiguirile din aval şi din secţiunea respectivă. Aşadar, nivelul apei într-o secţiune dată este influenţat de îndiguirile din amonte numai în măsura în care suprafaţa îndiguită din amonte este suficient de mare, încît să rezulte o valoare ΔQ_d care să nu poată fi neglijată.

Din cele prezentate rezultă că în cazul general, atît în regim îndiguit cît şi în regim natural, la determinarea debitelor maxime şi a nivelurilor corespunzătoare trebuie să ţinem seama de faptul că mişcarea apei variază cu timpul, este *nepermanentă*. Se poate accepta ipoteza că mişcarea apei în albiile rîurilor este permanentă numai în cazurile în care durata viiturii de calcul este relativ mare în raport cu durata de propagare a viiturii pe sectorul respectiv. Dar şi în aceste cazuri este necesar să se cunoască debitul maxim $Q_{max\ i}$ al viiturii, de calcul în regim îndiguit, deci să se fi determinat, în prealabil, efectul îndiguirii din amonte de secţiunea de calcul asupra creşterii debitelor.

Modelul de calcul al mişcării nepermanente prezintă dificultăţi mult mai mari de aplicare decît modelul de calcul al mişcării permanente. În condiţiile în care se dispune de calculatoare electronice aceste dificultăţi practic sînt înlăturate. De altfel pînă la apariţia calculatoarelor electronice cu performanţe superioare au fost folosite modele de calcul simplificate ale mişcării nepermanente a apei în albii.

Modelele de calcul simplificate ale mişcării nepermanente a apei în albiile rîurilor conduc la aproximaţii mari şi se folosesc din ce în ce mai puţin. Din acest motiv se va prezenta modelul de calcul Saint-Venant care descrie suficient de bine mişcarea apei în albiile rîurilor. Algoritmul de calcul propus pentru rezolvarea ecuaţiilor Saint-Venant este cel elaborat de autor împreună cu colaboratorii.

1.3.1. Modelul şi algoritmul de calcul privind propagarea şi compunerea viiturilor în albiile rîurilor «[19]», «[21]»

Admiţînd că mişcarea apei în albia rîurilor este *gradual-variată* şi *nepermanentă*, se obţin, cu metodele hidraulicii, ecuaţiile lui Saint-Venant:

$$B\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \tag{1.4}$$

ecuaţia continuităţii şi

$$\frac{\partial z}{\partial x} + \frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g}\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{Q^2}{K^2} = 0 \qquad (1.5)$$

ecuaţia dinamicii.

În aceste ecuaţii, conform figurii 1.6 *a*, *b* s-au folosit notaţiile:

v — viteza medie a curentului în secţiune;
z — cota suprafeţei libere a apei în secţiune;
$Q = \omega \cdot v$ — debitul;
$K = \frac{1}{n}\omega R^{2}/_{3}$;
n — coeficientul de rugozitate;
ω — aria secţiunii de curgere;
R — raza hidraulică;
B — lăţimea albiei la oglinda apei;
x — distanţa măsurată în lungul albiei;
t — timpul;
g — acceleraţia gravitaţională.

Coeficientul de rugozitate (n) se determină de regulă pe baza de măsurători. Valorile orientative ale acestuia sînt date în tabelul 1.1.

Condiţiile iniţiale corespund momentului $t = t_0$, cînd se consideră mişcarea permanentă, pentru care avem cunoscute:

$$z = z\,(x); \qquad Q = Q\,(x) \qquad (1.6)$$

Condiţiile la limită se consideră în secţiunea de început $x = 0$ şi în secţiunea de capăt $x = l$, pentru care avem:

$$Q = Q\,(t) \text{ şi } z = z\,(Q) \text{ sau } z = \text{const.} \qquad (1.7)$$

În plus, se cunosc condiţiile de racordare în secţiunile afluenţilor, unde în fiecare moment (t) avem:

$$Q_{i_{av}} = Q_{i_{am}} + q_i \qquad (1.8)$$

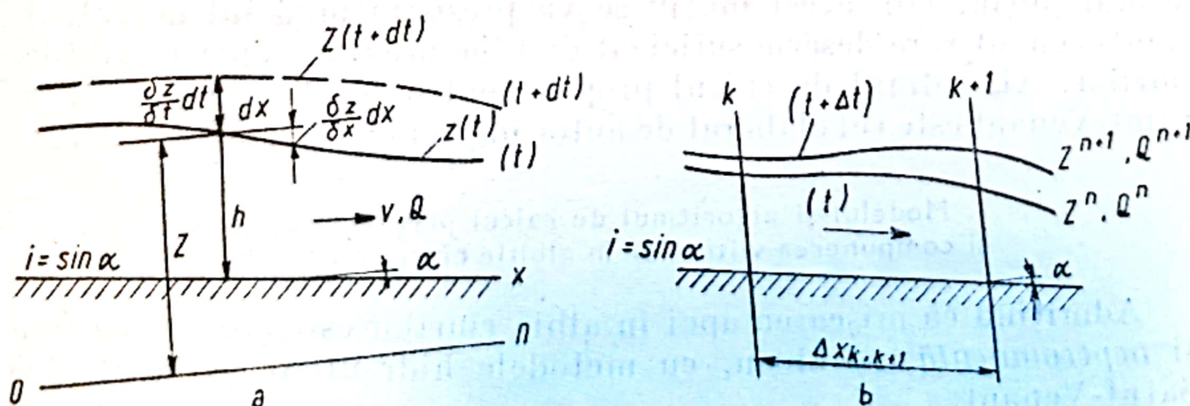


Fig. 1.6 — Schema mişcării nepermanente gradual variate a apei în albii:
a — în mărimi naturale; *b* — în diferenţe finite

unde:

Q_{iav} este debitul în aval de afluent;

$Q_{i\,am}$ — debitul în amonte de afluent;

q_i — debitul afluentului.

Exprimînd viteza v în funcţie de variabilele z şi Q sistemul de ecuaţii (1.4) şi (1.5) devine:

$$B\frac{\partial z}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=0 \qquad (1.9)$$

Tabelul 1.1

Valorile coeficienţilor de rugozitate „n" pentru albii naturale
(după Srîbnîi)

Nr. crt.	Caracteristica albiei	Valoarea „n"
1	Albii naturale în condiţii foarte bune (curate, rectilinii, albii curate de pămînt, cu scurgerea liberă)	0,025
2	Albii ale cursurilor permanente de cîmpie, în special ale rîurilor mari şi mijlocii, în condiţii normale de curgere	0,033
3	Albii relativ curate ale rîurilor de şes aflate în condiţii normale, sinuoase, cu oarecare neregularităţi în curgerea apei sau albii rectilinii, avînd relieful neregulat (porţiuni puţin adînci, gropi, uneori pietre). Albii regulate din pietriş, aflate în bune condiţii în partea inferioară. Albii de pămînt ale rîurilor periodice, albii uscate (în bune condiţii de curgere)	0,040
4	Albii ale rîurilor mari şi mijlocii, puternic inundabile, sinuoase, parţial acoperite cu vegetaţie, albii cu pietriş cu curgere neregulată. Albiile majore ale rîurilor mari şi mijlocii, în stare bună, acoperite cu vegetaţie (iarbă, tufişuri)	0,050
5	Albii sinuoase ale cursurilor de apă periodice puternic înfundate. Albii acoperite cu vegetaţie abundentă (tufişuri, arbori) şi avînd mai multe braţe. Porţiunile cu praguri ale rîurilor de cîmpie. Albii cu bolovani ale rîurilor de munte, avînd suprafaţa liberă a apei neregulată	0,067
6	Rîuri şi albii majore, abundent acoperite cu vegetaţie, cu curgere lentă şi cu gropi mari şi adînci. Albii de munte, cu curgere rapidă, aerate şi cu oglinda apei neregulate.	0,080

$$\frac{\partial z}{\partial x}+\frac{\mu}{g\omega}\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\mu+\nu}{g\omega^2}\frac{\partial Q}{\partial x}-\frac{\nu Q^2}{g\omega^3}\frac{\partial \omega}{\partial x}+\xi\frac{Q^2}{K^2}=0 \qquad (1.10)$$

unde coeficienţii μ, ν, ξ iau valorile 0 sau 1, după cum vrem să neglijăm sau să reţinem influenţa termenului respectiv.

Se transcrie sistemul (1.9), (1.10) în diferenţe finite, împărţind lungimea l a albiei în s sectoare de calcul. Fie $\Delta x_{k+1,k}$ lungimea sectorului de calcul cuprins între secţiunile $k+1$ şi k şi Δt — pasul de timp. Pentru aproximarea derivatelor unei funcţii F în raport cu x şi în raport cu t pe sectorul cuprins între secţiunile $k+1$ şi k la un moment cuprins între valorile $n+1$ şi n ale timpului t se vor folosi relaţiile:

$$\left.\frac{\partial F}{\partial x}\right|_{\substack{k+1,\,k\\ n+1,\,n}}=\frac{1}{\Delta x_{k-1,k}}\left[\theta\left(F_{k+1}^{n+1}-F_{k}^{n+1}\right)+(1-\theta)\left(F_{k+1}^{n}-F_{k}^{n}\right)\right] \qquad (1.11)$$

$$\left.\frac{\partial F}{\partial t}\right|_{\substack{k+1,\,k\\ n+1,\,n}}=\frac{1}{\Delta t}\left[\frac{1}{2}\left(F_{k+1}^{n+1}+F_{k}^{n+1}\right)-\frac{1}{2}\left(F_{k+1}^{n}+F_{k}^{n}\right)\right] \qquad (1.12)$$

unde:

F_k^n este valoarea funcţiei F în secţiunea k, la momentul n, iar θ un coeficient de pondere $(0<\theta<1)$

Pentru generalizare se presupune că în fiecare secţiune k există un afluent şi se va înlocui debitul în amonte cu debitul din aval şi cu debitul afluentului:

$$Q_{k_{am}}=Q_k-q_k \qquad (1.13)$$

Introducînd notaţiile:

$$\alpha_{k,\,k-1}=\frac{\mu\,\Delta x_{k,\,k-1}}{2g\bar{\omega}_{k,\,k-1}\,\eta\,\Delta t};$$

$$\beta_{k,\,k-1}=\frac{2\,\Delta t}{\bar{B}_{k,\,k-1}\,\Delta x_{k,\,k-1}};$$

$$\gamma'_{k,\,k-1}=\frac{\mu+\nu}{2g\eta\bar{\omega}^2_{k,\,k-1}};$$

$$\delta'_{k,\,k-1}=\frac{\xi\,\Delta x_{k,\,k-1}}{4\eta\bar{K}^2_{k,\,k-1}}-\frac{\nu\left(\omega_k^n-\omega_{k-1}^n\right)}{4g\bar{\omega}^3_{k,\,k-1}};$$

$$\gamma_{k,\,k-1}=\gamma_{k,\,k-1}\left(Q_k^{n+1}+Q_{k-1}^{n+1}-q_k^{n+1}\right);$$

$$\delta_{k,\,k-1}=\delta'_{k,\,k-1}\left(Q_k^{n+1}+Q_{k-1}^{n+1}-q_k^{n+1}\right);$$

$$A_{k,\,k-1}=\alpha_{k,\,k-1}-\beta_{k,k-1}\theta-\gamma_{k,\,k-1}\theta+\delta_{k,\,k-1}$$

$$B_{k,\,k-1}=\alpha_{k,\,k-1}+\beta_{k,\,k-1}\theta+\gamma_{k,\,k-1}\theta+\delta_{k,\,k-1}$$

$$C_{k+1,\,k}=\alpha_{k+1,\,k}+\beta_{k+1,\,k}\theta-\gamma_{k+1,\,k}\theta+\delta_{k+1,\,k}$$

$$D_{k+1,\,k}=\alpha_{k+1,\,k}-\beta_{k+1,\,k}\theta+\gamma_{k+1,\,k}\theta+\delta_{k+1,\,k}$$

$$E_{k,\,k-1}=\alpha_{k,\,k-1}+\beta_{k,\,k-1}(1-\theta)+\gamma_{k,\,k-1}(1-\theta) \qquad (1.14)$$

$$F_{k,\,k-1}=\alpha_{k,\,k-1}-\beta_{k,\,k-1}(1-\theta)-\gamma_{k,\,k-1}(1-\theta)$$

$$G_{k+1,\,k}=\alpha_{k+1,\,k}-\beta_{k+1,\,k}(1-\theta)+\gamma_{k+1,\,k}(1-\theta)$$

$$H_{k+1,\,k}=\alpha_{k+1,\,k}+\beta_{k+1,\,k}(1-\theta)-\gamma_{k+1,\,k}(1-\theta)$$

$$J_{k-1,\,k+L}=\frac{1}{\eta}(z^n_{k-1}-z^n_{k+1})$$

$$R^n_k=E_{k,\,k-1}\;Q^n_{k-1}+(F_{k,\,k-1}+G_{k+1,\,k})\;Q^n_k+H_{k+1,\,k}\;Q^n_{k+1}+$$
$$+J_{k-1,\,k+1}+B_{k,\,k-1}\;q^{n+1}_k+D_{k+1,\,k}\;q^{n+1}_{k+1}-F_{k,\,k-1}$$
$$q^n_k-H_{k+1,\,k}\;q^n_{k+1}$$

sistemul de ecuaţii (1.9) şi (1.10) se transformă într-un sistem algebric de $s+1$ ecuaţii cu $s+1$ necunoscute, de forma:

$$Q^n_0=Q(t) \qquad (1.15)$$

$$A_{k,\,k-1}\;Q^{n+1}_{k-1}+(B_{k,k-1}+C_{k+1,\,k})\;Q^{n+1}_k+D_{k+1,\,k}\;Q^{n+1}_{k+1}=R^n_k \qquad (1.16)$$

$$k=1,\,2,\,3\;.....\;S$$

unde:

η este coeficientul de pondere din relaţia (1.11), afectat ecuaţiei continuităţii, iar

θ — acelaşi coeficient de pondere afectat ecuaţiei dinamice

Cotele z^{n+1}_k se determină din relaţia:

$$z^{n+1}_k=z^n_k-\frac{\beta_{k,k-1}}{2}[\theta(Q^{n+1}_k-Q^{n+1}_{k-1}-q^{n+1}_k)+(1-\theta)(Q^n_k-Q^n_{k-1}-q^n_k)]-$$
$$-\frac{1}{2\eta}(z^n_k-z^n_{k-1})-\frac{\alpha_{k\;\;k-1}}{2}(Q^{n+1}_k+Q^{n+1}_{k-1}-q^{n+1}_k-Q^n_k-Q^n_{k-1}+q^n_k)-$$
$$-\frac{\gamma_{k,\,k-1}}{2}\theta(Q^{n+1}_k-Q^{n+1}_{k-1}-q^{n+1}_k)+(1-\theta)(Q^n_k-Q^n_{k-1}-q^n_k)]-$$
$$-\frac{\delta_{k,\,k-1}}{2}Q^{n+1}_k+Q^{n+1}_{k-1}-q^n_k) \qquad (1.17)$$

Sistemul (1.15), (1.16) de $s+1$ ecuaţii cu $s+1$ necunoscute are o proprietate remarcabilă care constă în faptul că determinantul

format din coeficienţii necunoscutelor este tridiagonal. Datorită acestui fapt avem relaţiile:

$$Q_{k-1}^{n+1}=a_k\ Q_k^{n+1}+b_k \tag{1.18}$$

unde:

$$a_k=-\frac{A_{k,\ k-1}}{B_{k,\ k-1}+C_{k+1}+a_{k+1}D_{k+1,\ k}} \tag{1.19}$$

$$b_k=\frac{R_k^n-b_{k+1}\ D_{k+1,k}}{B_{k,\ k-1}+C_{k+1,\ k}+a_{k+1}\ D_{k+1,\ k}} \tag{1.20}$$

Considerînd $k=s$, se deduc imediat coeficienţii a_s şi b_s (întrucît $a_{s+1}=0$ şi $b_{s+1}=0$) şi mai departe se determină a_k şi b_k pentru toate valorile $k=s-1,\ s-2\ \ldots\ 3,\ 2,\ 1,\ 0$.

Calculul coeficienţilor α, β, γ, δ se face iniţial cu valorile corespunzătoare momentului n. Apoi, după determinarea valorilor Q_k^{n+1} în prima aproximaţie, se corectează coeficienţii α, β, γ, δ şi se determină valorile Q_k^{n+1} în a doua aproximaţie ş.a.m.d. Pentru grăbirea convergenţei calculelor, corectarea coeficienţilor α, β, γ, δ se face cu valorile obţinute nu de la iteraţia $j-1$, ci cu media valorilor la iteraţiile $j-1$ şi $j-2$.

Algoritmul de calcul astfel conceput permite rezolvarea oricăror probleme de mişcare nepermanentă a lichidelor descrisă de ecuaţiile Saint-Venant şi prezintă unele caracteristici care-l fac avantajos în raport cu alte algoritme de calcul.

Algoritmul de calcul propus corespunde unor scheme implicite în diferenţe finite ($1>\theta>0$; $1>\eta>0$) şi se distinge prin simplitate şi convergenţă rapidă a calculelor. Condiţiile de stabilitate şi de convergenţă a soluţiilor numerice ale ecuaţiilor în diferenţe finite corespunzătoare algoritmului propus au fost puse în evidenţă aplicînd metoda Fourier şi metoda analizei directe a relaţiilor (1.18), (1.19) şi (1.20).

Metoda Fourier necesită linearizarea ecuaţiilor în diferenţe finite ale mişcării, respectiv considerarea parametrilor α, β, γ, δ constanţi. În acest caz ecuaţiile (1.16) şi (1.17) pot fi scrise în forma matricială:

$$\mathcal{A}\ V_{k+1}^{n+1}+\mathcal{B}\ V_k^{n+1}+\mathcal{C}\ V_{k+1}^n+\mathcal{D}\ V_k^n=0 \tag{1.21}$$

unde:

$$V_{k+1}^{n+1}=\begin{bmatrix} z_{k+1}^{n+1} \\ Q_{k+1}^{n+1} \end{bmatrix}$$

este vectorul variabilelor necunoscute și

$$\mathcal{A} = \begin{bmatrix} 1 & \beta\theta \\ \eta\alpha+\gamma\theta+\delta \end{bmatrix}; \qquad \mathcal{B} = \begin{bmatrix} 1 & -\beta\theta \\ -\eta\alpha-\gamma\theta+\delta \end{bmatrix}$$

$$\mathcal{C} = \begin{bmatrix} -1 & \beta(1-\theta) \\ 1-\eta-\alpha+\gamma(1-\theta); \end{bmatrix}; \qquad \mathcal{D} = \begin{bmatrix} -1 & -\beta(1-\theta) \\ -(1-\eta)-\alpha-\gamma(1-\theta \end{bmatrix}$$

sînt matricele coeficienților, considerați constanți. Soluția ecuației (1.21) se caută sub forma:

$$V_k^n = V_0 \lambda^n \quad e^{ik\varphi} \tag{1.22}$$

unde: λ este un număr, $0 \leqslant \varphi \leqslant 2\pi$, iar V_0 se determină din condițiile inițiale.

Stabilitatea este dată de condiția:

$$|\lambda| \leqslant 1 \tag{1.23}$$

ceea ce conduce la relațiile:

$$1 \geqslant \theta \geqslant \frac{1}{2}; \qquad 1 \geqslant \eta \geqslant \frac{1}{2} \tag{1.24}$$

oricare ar fi: $\frac{\Delta x}{\Delta t}$.

Totodată s-a putut pune în evidență influența parametrului $\delta > 0$ ca factor de amortizare a unor erori de calcul. În conformitate cu relațiile (1.24) în calcule s-a considerat $\theta = \eta = \frac{2}{3}$.

Analiza directă a ecuațiilor (1.18), (1.19) și (1.20) ne arată că întotdeauna:

$$\bar{p}_k = \frac{A_{k-1,\,k}}{B_{k-1,\,k} + C_{k+1,\,k}} < 1 \text{ și}$$

$$\bar{q}_k = \frac{D_{k-1,\,k}}{B_{k-1,\,k} + C_{k+1,\,k}} < 1 \tag{1.25}$$

Dat fiind faptul că:

$$\beta_{k-1,\,k} \geqslant \alpha_{k-1,\,k} \quad \text{și} \quad \beta_{k-1,\,k} \geqslant \gamma_{k-1,\,k} \tag{1.26}$$

este de așteptat ca întotdeauna:

$$A_{k-1,\,k}(B_{k-1,\,k} + C_{k+1,\,k}) < 0 \tag{1.27}$$

și

$$D_{k+1,\,k}(B_{k-1,\,k} + C_{k+1,\,k}) < 0 \tag{1.28}$$

Ecuaţiile de recurenţă (1.19) şi 1.20) devin:

$$a_k = \frac{\bar{p}_k}{1-a_{k+1}\ \bar{q}_k}; \qquad b_k = \frac{\bar{r}_k + \bar{q}_k\ b_{k+1}}{1-a_{k+1}\ \bar{q}_k} \tag{1.29}$$

unde: $\bar{r}_k = \frac{R_k}{B_k}$.

Pentru ca vectorul $V_k^n = \begin{bmatrix} z_k^n \\ Q_k^n \end{bmatrix}$ să aibă valori limitate este suficient ca valorile coeficienţilor a_k şi b_k să fie limitate. Pentru aceasta este suficient ca:

$$a_{k+1}\ \bar{q}_k < 1 \tag{1.30}$$

Considerînd şirul a_k şi luînd într-o primă aproximaţie $a_{k+1} = a_k$, condiţia (27) devine:

$$\bar{p}_k\ \bar{q}_k < \frac{1}{4} \tag{1.31}$$

Aşadar, la valori $\Delta x_{k,\,k-1}$ admise se poate alege un Δt astfel ca relaţia (1.31) să fie îndeplinită, iar stabilitatea şi convergenţa calculelor să fie asigurate. Această operaţie o face calculatorul însuşi.

Calculele se conduc în felul următor:

— Se împarte lungimea l a albiei de rîu în s sectoare de calcul. Lungimea $\Delta x_{k,\,k-1}$ a sectorului de calcul se alege ţinînd seama de configuraţia albiei şi de indicaţia generală:

$$\Delta x_{k,\,k-1} \leqslant (2-3)\,\frac{B_k + B_{k-1}}{2} \tag{1.32}$$

Această indicaţie rezultă din necesitatea ca schema în diferenţe finite să aproximeze suficient de bine ecuaţiile diferenţiale ale mişcării.

— Se adoptă pasul de timp Δt, astfel încît să se asigure convergenţa şi stabilitatea calculelor. Prima valoare Δt se admite:

$$\Delta t \simeq (5-10)\,\frac{\Delta x}{|v| + \sqrt{g\,\frac{\omega}{B}}} \tag{1.33}$$

unde:

v este viteza medie a curentului;
ω — aria secţiunii transversale a albiei, iar
B — lăţimea albiei la oglinda apei.

— Se acceptă pentru η şi θ valori cuprinse între $\frac{1}{2}$ şi 1. Mai indicate par a fi valorile $\eta=\theta=\frac{2}{3}$.

— Se calculează la momentul t toate caracteristicile geometrice ale albiei (z, B, ω, K), precum şi coeficienţii α, β, γ, δ, A, B, C, D, E, F, G, H, J, R, a, b.

— Se determină necunoscutele Q_k^{n+1} în prima aproximaţie, cu care se recalculează coeficienţii α, β, γ, δ ,... şi se determină Q_k^{n+1} în a doua aproximaţie ş.a.m.d.

Calculul îl vom considera încheiat la momentul $t+\Delta t$, dacă diferenţa între rezultatele a două încercări succesive nu depăşeşte o toleranţă ε:

$$\left| \underset{j}{Q_k^{n+1}} - \underset{j-1}{Q_k^{n+1}} \right| \leqslant \varepsilon \tag{1.34}$$

pentru orice $k=1, 2, \ldots s$. În practică se ia ($\varepsilon\simeq(10^{-3}-10^{-4})\, Q_{max}$.

— Se calculează apoi cotele suprafeţei libere cu relaţia (1.17).

— Se trece la un nou pas de timp Δt şi calculul se repetă. În felul acesta se parcurge întreg hidrograful de calcul $Q_1=Q_1(t)$.

Calculele arată că la fiecare pas Δt numărul de încercări j pentru respectarea relaţiei (1.34), cu $\varepsilon=(10^{-3}-10^{-4})\, Q_{max}$ este relativ mic, de ordinul a 3, 4.

S-ar fi putut pune problema ca la fiecare încercare (j) la acelaşi pas (t) să se recalculeze toţi coeficienţii A, B, C, R, nu cu valorile corespunzătoare momentului (t), ci cu valorile corespunzătoare momentului $t+\Delta t$. Calculele arată că aproximaţiile care se fac sînt atît de mici încît nu merită să mărim timpul de lucru al calculatorului.

Mişcarea nepermanentă a apei în albiile rîurilor, în perioada viiturilor este, în general, foarte lentă, termenul cinetic $\frac{v}{g}\frac{\partial v}{\partial x}$ şi de foarte multe ori şi termenul inerţial $\frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t}$ din ecuaţia (1.5) pot fi neglijaţi. În aceste condiţii ecuaţiile mişcării apei în diferenţe finite se simplifică, iar volumul calculelor se reduce.

Ecuaţia (1.9) rămîne aceeaşi:

$$B\frac{\partial z}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=0 \tag{1.4}$$

iar ecuaţia (1.10) devine:

$$\frac{\partial z}{\partial x}+\frac{\xi Q^2}{K^2}=0 \tag{1.35}$$

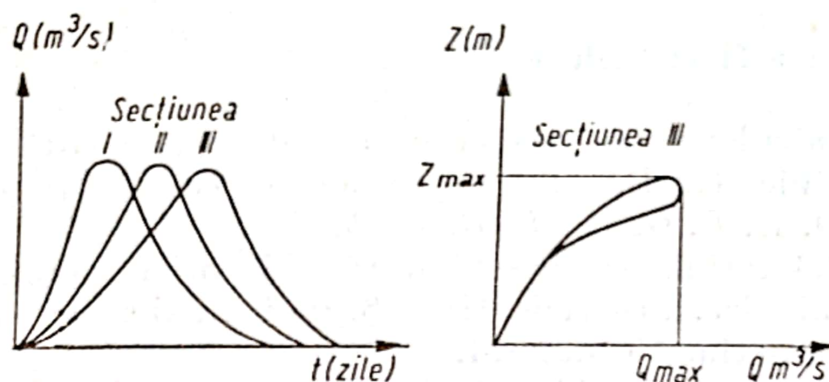


Fig. 1.7 — Rezultatele unor calcule de mişcare nepermanentă

În mod corespunzător în relația (1.14) și următoarele se anulează parametrii α și γ; parametrul δ se simplifică. Avînd însă întocmit programul general, calculul se face punînd de la început condiția $\mu=\nu=0$.

Calculul mişcării nepermanente a apei în albiile rîurilor cu ajutorul ecuațiilor lui Saint-Venant, permite obținerea tuturor elementelor hidraulice de care este nevoie la dimensionarea digurilor. În fiecare secțiune (k) se obține atît valoarea debitului maxim, cît și valoarea nivelului maxim. Trebuie subliniat faptul că nivelurile maxime nu se obțin în același moment în toate secțiunile de calcul, ci în momente diferite. De aceea *curba de calcul* a suprafeței libere a apei este *o înfășurătoare a tuturor nivelurilor maxime* în lungul rîului.

Pentru exemplificare, în figura 1.7 se prezintă rezultatele calculelor efectuate în regim nepermanent pe unul din rîurile îndiguite din țara noastră.

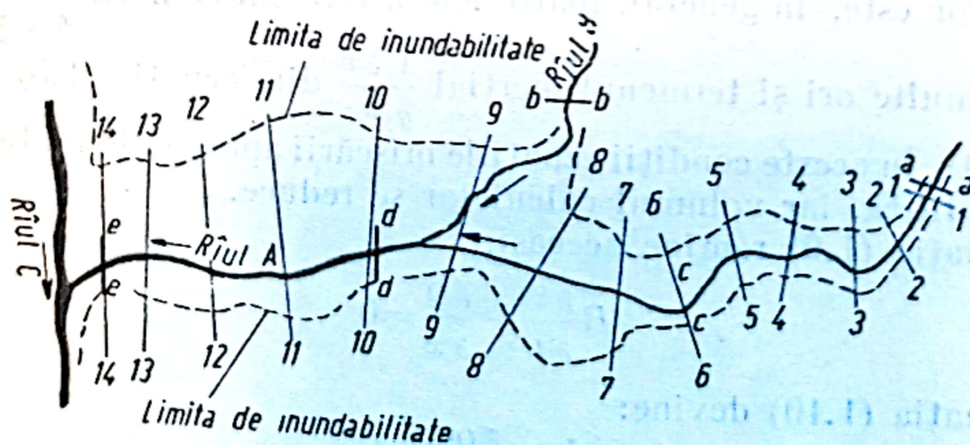


Fig. 1.8 — Rîul A și lunca inundabilă

Calculele arată că, chiar şi în regim îndiguit se produce o atenuare a vîrfului undei de viitură, dar că această atenuare este practic neglijabilă.

În regim natural, însă, în cazul unor rîuri cu lunci largi, aşa cum s-a menţionat, atenuarea debitului maxim poate să fie foarte puternică.

Una din problemele principale care trebuie rezolvată la îndiguirea albiilor majore ale rîurilor, este cunoaşterea debitului dezatenuat prin îndiguire (sporul de debit ΔQ_d), respectiv a debitului atenuat în regim natural. Această problemă s-ar putea rezolva, folosind modelul de calcul prezentat. Pentru precizarea ideilor, se consideră rîul *A* (fig. 1.8) cu o luncă inundabilă cu suprafaţă foarte mare şi cu un afluent *B* pe sectorul care se analizează.

Pe acest sector sînt 4 posturi hidrometrice în secţiunile *a—a*, *b—b*, *c—c*, *d—d* şi *e—e*. Din cauza lăţimii foarte mari a albiei majore, în secţiunile *c—c*, *d—d* şi *e—e* la ape mari sînt sigure citirile de niveluri; trasarea unei chei limnimetrice în aceste secţiuni, nu este posibilă decît pentru debitele care curg în albia minoră, debitele care curg în albia majoră neputînd fi măsurate.

Se analizează o viitură concretă cunoscută sub aspectul hidrografelor debitelor şi nivelurilor în secţiunile *a—a* şi *b—b* şi numai sub aspectul nivelurilor în secţiunile *c—c*, *d—d* şi *e—e*. Pentru determinarea hidrografelor debitelor şi nivelurilor în orice secţiune a rîului, inclusiv în secţiunea *e—e* la vărsare, deci pentru reconstituirea undei de viitură, trebuie efectuat un calcul în regim nepermanent de transmitere a undei de viitură pe lungimea *l* cuprinsă între secţiunile *a—a* şi *e—e*. În acest scop se fac ridicări de profile transversale (în figură sînt arătate amplasamentele a 14 astfel de profile) se ridică, de asemenea, profilul longitudinal cu linia talvegului, linia malurilor, cotele zero ale mirelor hidrometrice, nivelul apei la data ridicării şi eventual, dacă se cunoaşte, nivelul apelor mari la viitura la care sînt observaţii (fig. 1.9).

Se determină coeficienţii de rugozitate în albia minoră pe bază de măsurători şi se aproximează pe bază de observaţii, ţinînd seama de caracterul vegetaţiei şi starea albiei, coeficientul de rugozitate în albia majoră.

Se precizează hidrografele debitelor şi ale nivelurilor în secţiunile *a—a* şi *b—b* şi hidrografele nivelurilor în secţiunile *c—c*, *d—d* şi *e—e*. Hidrograful debitelor din secţiunea *b—b* se transpune în profilul 9—9. Ecuaţia de continuitate şi ecuaţia dinamică pe sectorul de calcul 9—10 vor trebui să ţină seama de debitele sumă de pe rîul *B* şi de pe rîul *A*, din amonte de confluenţă cu rîul *B*.

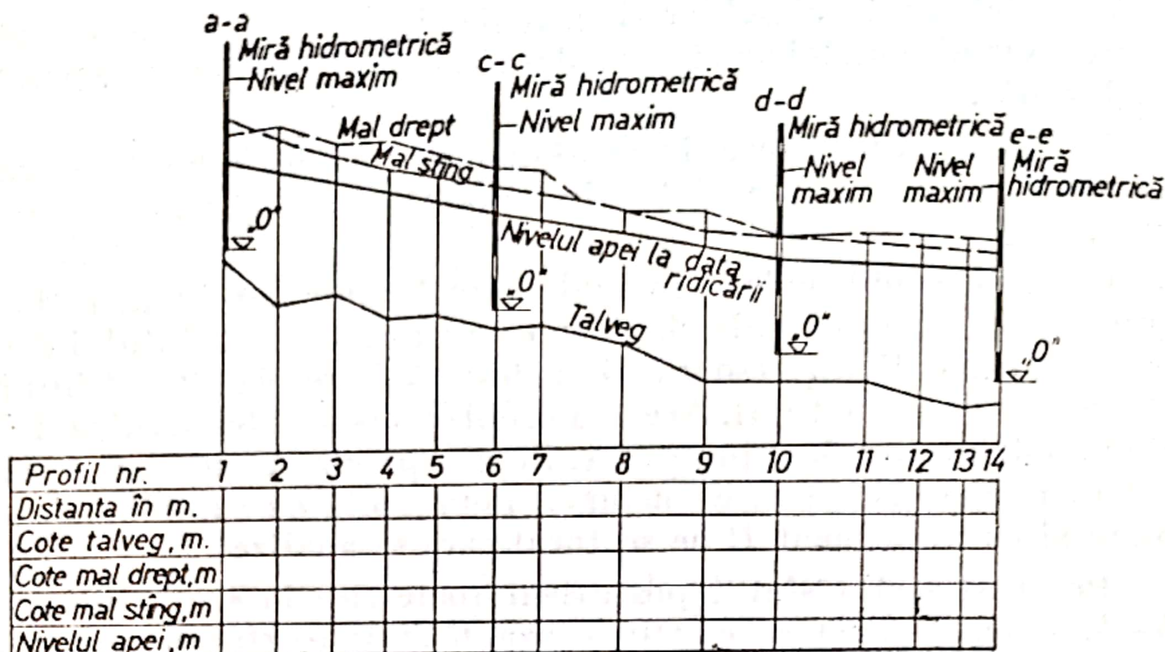


Fig. 1.9 — **Profil longitudinal prin rîul A**

Condițiile la limită ale ecuațiilor mișcării sînt în acest caz hidrograful debitelor în secțiune *a—a*, hidrograful debitelor în secțiunea *b—b* (transpuse în secțiunea *a—a*) și hidrograful nivelurilor în secțiune 14—14.

Efectuînd calculele se obțin hidrografele debitelor și nivelurilor în fiecare profil. Se compară nivelurile calculate cu nivelurile măsurate în secțiunile cu mire hidrometrice *a—a*, *b—b*, *c—c*, *d—d* și *e—e*.

Se modifică prin încercări coeficienții de rugozitate în albia majoră pînă se obține coincidența nivelurilor calculate cu nivelurile măsurate. În felul acesta se reconstituie viitura concretă și se tarează modelul de calcul.

Din cele relatate se vede cît de importante sînt datele de bază hidrometrice la reconstituirea viiturilor și la tararea modelului de calcul.

Dacă distanța între secțiunile cu mire hidrometrice nu este prea mare, se poate face un calcul aproximativ de reconstituire a viiturilor de calcul folosind numai ecuația continuității, curba suprafeței libere între două mire hidrometrice considerînd-o lineară. În acest caz ecuația dinamică va fi înlocuită cu citirile de niveluri în secțiunile cu mire hidrometrice. Debitele în secțiunile cu miră (unde se cunosc nivelurile), se calculează din aproape în aproape cu ecuația continuității pentru $\theta = \frac{1}{2}$.

$$Q_k^{n+1} = Q_{k-1}^{n+1} + Q_{k-1}^{n} - Q_k^{n} + \frac{2}{\beta_{k,\,k-1}} \left(z_k^{n+1} + z_{k-1}^{n+1} - z_k^{n} - z_{k-1}^{n} \right) \qquad (1.36)$$

unde, evident, Δx este distanţa între mirele hidrometrice. Calculele se pornesc din amonte spre aval, de la momentul t_0 corespunzător regimului permanent. Aceste calcule sînt de fapt nişte calcule de bilanţ, care în limita aproximaţiilor admise permit obţinerea hidrografelor debitelor şi a cheilor limnimetrice în secţiunile cu mire hidrometrice la o viitură concretă.

Efectuînd apoi calculele de mişcare nepermanentă de transmitere a aceleiaşi unde de viitură în regim îndiguit, se pot determina debitele maxime în orice secţiune de calcul şi nivelurile corespunzătoare. Făcînd diferenţa între debitul maxim în regim îndiguit şi debitul maxim în regim natural, se determină debitul dezatenuat ΔQ_d. Făcînd diferenţa între nivelul maxim în regim îndiguit şi nivelul maxim în regim natural, se găseşte supraînălţarea totală de nivel Δz.

Aşadar, ecuaţiile mişcării nepermanente a apei permit să se determine atît debitul dezatenuat de îndiguiri, cît şi supraînălţarea totală de nivel. Dar, sînt şi multe cazuri cînd atenuarea debitului maxim în regim îndiguit este practic neglijabilă. În aceste cazuri, pentru obţinerea nivelurilor maxime trebuie să se analizeze dacă nu sînt suficiente numai calculele hidraulice în mişcare permanentă la debitul maxim. Calculele de mişcare permanentă la debitul maxim presupun cunoscută variaţia debitului maxim în lungul tronsonului de rîu în regim îndiguit, iar durata acestui debit maxim suficient de mare ca scurgerea să poată fi considerată stabilizată.

1.3.2. Modelul de calcul al mişcării permanente a apei în albiile rîurilor

În cazul mişcării *permanente gradual variate* a apei în albiile rîurilor, ecuaţia continuităţii ia forma:

$$Q = \text{const.} \tag{1.37}$$

iar ecuaţia dinamicii devine:

$$\frac{dz}{dx} + \frac{d}{dx}\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) + \frac{Q^2}{K^2} = 0 \tag{1.38}$$

Transcrisă în diferenţe finite pe distanţa Δx între două secţiuni transversale 1—1 şi 2—2 (fig. 1.10) ecuaţia (1.38) are expresia cunoscută (ecuaţia de conservare a energiei):

$$z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \frac{Q^2}{K_{1,2}^2}\Delta x \tag{1.39}$$

sau

$$\Delta z = z_2 - z_1 = \frac{\alpha_1 v_1^2 - \alpha_2 v_2^2}{2g} + \frac{Q^2}{K_{1,2}^2}\Delta x \qquad (1.40)$$

unde: $K_{1,2}$ se calculează după una din relaţiile:

$$\frac{1}{K_{1,2}^2} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{K_1^2} + \frac{1}{K_2^2}\right); \quad \text{sau} \quad K_{1,2} = \frac{K_1 + K_2}{2} \qquad (1.41)$$

K_1 fiind modulul de debit în secţiunea 1—1, iar K_2 — modulul de debit în secţiunea 2.

Înlocuind v cu expresia sa $\frac{Q}{\omega}$ şi admiţînd $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ relaţia (1.40) se mai scrie:

$$\Delta z = z_2 - z_1 = \frac{Q^2}{2g}\left(\frac{1}{\omega_1^2} - \frac{1}{\omega_2^2}\right) + \frac{Q^2}{K_{1,2}^2}\Delta x \qquad (1.42)$$

În foarte multe cazuri variaţia termenului cinetic se poate neglija în raport cu termenul $\frac{Q^2}{K_{1,2}^2}\Delta x$. În aceste cazuri ecuaţia (1.42) devine:

$$\Delta z = z_2 - z_1 = \frac{Q^2}{K_{1,2}^2}\Delta x \qquad (1.43)$$

şi exprimă faptul că pentru panta medie a suprafeţei libere a apei pe sectorul Δx este egală cu media aritmetică a pantelor de la capetele sectorului.

Calculul suprafeţei libere a apei cu relaţia (1.42) sau (1.43) se efectuează prin încercări succesive:

— În profilul l—l se cunoaşte z_1 şi se calculează ω_1 şi K_1^2.

— Se admite o cotă $z_2' > z_1$ în profilul 2—2 şi se calculează ω_2, K_2^2 şi $K_{1,2}^2$.

— Cu relaţia (1.42) sau (1.43) se calculează valoarea z_2''. Dacă $|z_2'' - z_2'| < \varepsilon_z$ unde ε_z este toleranţa de neînchidere a calculelor, se consideră cota $z_2 = z_2''$. Dacă $|z_2'' - z_2'| > \varepsilon_z$ se admite $z_2''' = \frac{z_2'' + z_2'}{2}$ şi se refac calculele ş.a.m.d.

De obicei $\varepsilon_z \simeq 1-2$ cm.

Rezultatele calculelor se înscriu într-un tabel şi se efectuează pentru toată lungimea rîului.

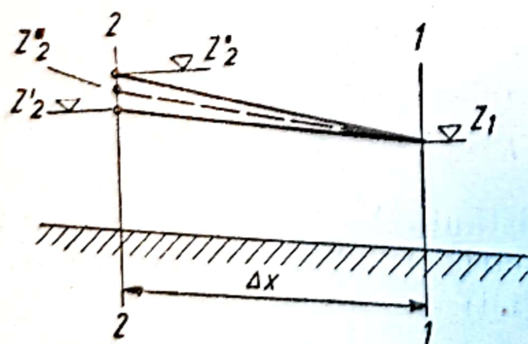


Fig. 1.10 — Schema mişcării gradual variate

Tabelul 1.2

Calculul curbelor de remuu

Sectorul	z_1	W1	K1	z'_2	W2	K2	K1,2	z''_2
1—2								

Secţiunile de calcul 1—1, 2—2, 3—3, ... se aleg astfel, încît pe acelaşi sector de calcul variaţia mărimilor geometrice să fie cît mai redusă.

Uneori cînd apar variaţii mari de secţiune de curgere de la un profil la altul, se introduc şi pierderile de sarcină locale, iar formula (1.39) devine:

$$z_2+\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}=z_1+\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}+\frac{Q^2}{K_{1,2}^2}\Delta x+\frac{\zeta v_1^2}{2g} \tag{1.44}$$

unde: ζ este coeficientul de pierdere de sarcină locală, raportat la secţiunea aval, 1—1. Relaţia de calcul (1.42) capătă forma:

$$\Delta z=z_2-z_1=\frac{Q^2}{2g}\left[\frac{1+\zeta}{\omega_1^2}-\frac{1}{\omega_2^2}\right]+\frac{Q^2}{K_{1,2}}\Delta x \tag{1.45}$$

unde: $\zeta>0$. Pentru albii convergente $(\omega_1<\omega_2)$ ζ este foarte mic şi se poate admite $\zeta=0$. Pentru albii divergente $(\omega_1>\omega_2)$ coeficientul ζ se poate aproxima cu relaţia:

$$\zeta\simeq(0{,}5-1{,}0)\left(\frac{\omega_1}{\omega_2}-1\right)^2 \tag{1.46}$$

Modulii de debit K_1 şi K_2 se calculează separat pentru albia minoră şi pentru albia majoră:

$$K_m=\frac{1}{n_m}\omega_m R_m^{2/3};\qquad K_M=\frac{1}{n^M}\omega^M R_M^{2/3} \tag{1.47}$$

$$K=K_m+K_M$$

De foarte multe ori se întîmplă ca albia minoră să fie puternic meandrată, lungimea firului de curent măsurată pe traseul albiei minore să fie mult mai mare decît lungimea firului de curent măsurată pe direcţia generală a curgerii prin albia majoră (fig. 1.11).

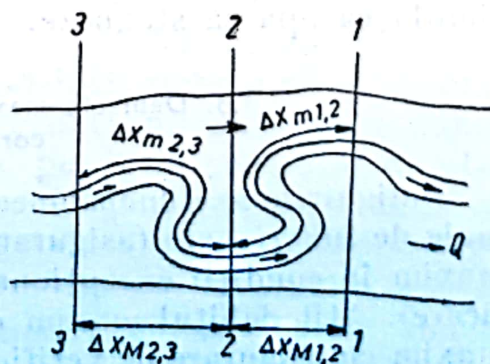


Fig. 1.11 — **Albie meandrată**

În aceste cazuri rezistenţele hidraulice în albia minoră sînt mai

mari decît în albia majoră. Nu se cunosc modele de calcul pentru determinarea exactă a pierderilor de sarcină ale curentului în ansamblu la ape mari. În mod aproximativ, pentru calculul modului de debit se folosește relația:

$$K_m + K_M \sqrt{\frac{\Delta x_m}{\Delta x_M}} \tag{1.48}$$

unde: Δx_m este distanța între secțiunile de calcul măsurată pe traseul albiei minore, Δx_M — distanța între secțiunile de calcul măsurată pe traseul albiei majore:

$$K_m = \frac{1}{2}(K_{m1} + K_{m2}); \quad K_M = \frac{1}{2}(K_{M1} + K_{M2}) \tag{1.49}$$

indicii 1 și 2 referindu-se la secțiunile 1—1 și 2—2.

În final se obține relația de calcul:

$$\Delta z = z_2 - z_1 = \frac{Q^2}{2g}\left[\frac{1+\zeta}{\omega_1^2} - \frac{1}{\omega_2^2}\right] + \frac{Q^2}{K^2}\Delta x_m \tag{1.50}$$

unde: $\omega_1 = \omega_{m1} + \omega_{M1}$; $\omega_2 = \omega_{m2} + \omega_{M2}$

Uneori se folosește și relația:

$$\Delta z = z_2 - z_1 = \frac{Q^2}{2g}(1+\zeta)\left(\frac{1}{\omega_1^2} - \frac{1}{\omega_2^2}\right) + \frac{Q^2}{K^2}\Delta x_m \tag{1.51}$$

unde: ζ ia valori 0 pentru albie convergentă și 0,5 pentru albii divergente.

Relația (1.48) conține influența traseului meandrat al albiei minore asupra curgerii apelor mari, numai în măsura în care rezistența suplimentară în calea curentului se datorește lungimii geometrice diferite a albiei minore față de a albiei majore. În realitate la albii minore puternic meandrate rezistențele hidraulice la curgerea apelor mari cresc într-o măsură mai mare decît arată relația (1.48). Pe unele tronsoane curentul în albia minoră poate fi foarte aproape ca direcție de curentul din albia majoră, dar de sens opus. În albia minoră sub cota malurilor pe aceste tronsoane se poate întîmpla ca apa să stagneze.

1.3.3. Debitele maxime de calcul și nivelurile corespunzătoare

Indiguirile se dimensionează la debitul maxim în condiții normale de funcționare (asigurarea de calcul) și se verifică la debitul maxim în condiții excepționale de funcționare (asigurare de verificare). Atît debitul maxim cu asigurare de calcul, cît și debitul maxim cu asigurare de verificare, trebuie să corespundă regimului modificat de curgere de către lucrările propuse.

Prin urmare, prin calculele hidrologice şi hidraulice, trebuie să se determine:

— debitele maxime cu asigurare de calcul şi de verificare în regim amenajat, şi

— nivelurile corespunzătoare debitelor maxime de calcul şi de verificare.

În regim natural se ştie cum se determină debitele maxime de diferite asigurări. Dacă se dispune de suficiente date din măsurători, aceste debite se determină printr-un calcul statistic. Dacă lipsesc date din observaţii şi măsurători, se fac calcule prin metode indirecte. În regim amenajat ar trebui să se facă acelaşi lucru. În cazul în care se dispune de observaţii şi măsurători asupra undelor de viitură pe un număr suficient de ani ($n > 15-20$ ani), este posibil să se treacă fiecare viitură prin schema lucrărilor propuse, să se găsească viiturile modificate şi să se facă un calcul statistic cu debite maxime astfel rezultate. Se găseşte o nouă curbă de asigurare a debitelor maxime corespunzătoare regimului modificat, iar nivelurile de calcul şi de verificare se determină la debitele maxime corespunzătoare. Aşa s-a procedat la îndiguirea Dunării pe sectorul aferent ţării noastre [21], la îndiguirea rîului Prut şi a altor rîuri. Calculele sînt foarte laborioase şi numai calculatoarele electronice permit rezolvarea în acest fel a problemelor.

În cazul în care lipsesc date din observaţii şi măsurători, se trec prin schema lucrărilor propuse undele de viitură corespunzătoare asigurărilor de calcul şi de verificare şi se determină undele de viitură modificate, cu debite maxime şi niveluri corespunzătoare.

Dacă în primul caz, cînd există date din observaţii şi măsurători, calculele se efectuează pentru toate viiturile, în al doilea caz cînd datele din observaţii şi măsurători lipsesc, calculele se efectuează numai pentru două viituri teoretice — cu asigurare de calcul şi cu asigurare de verificare. S-ar putea pune problema ca şi în primul caz, calculele hidraulice să se facă numai cu două viituri cu asigurare de calcul şi de verificare. Rezultatele calculelor ar fi însă aproximative, pentru că mai întîi trebuie să se aproximeze o undă de viitură de asigurare dată nu numai din punct de vedere al debitului la vîrf, ci şi din punct de vedere al duratei şi al formei în general, ceea ce devine convenţional (s-a văzut că debitul dezatenuat ΔQ_d este cu atît mai mare, cu cît durata viiturii la vîrf este mai mică).

În plus, trebuie să se reanalizeze modul cum se compun undele viitură teoretice în zona confluenţei rîului principal cu afluenţii.

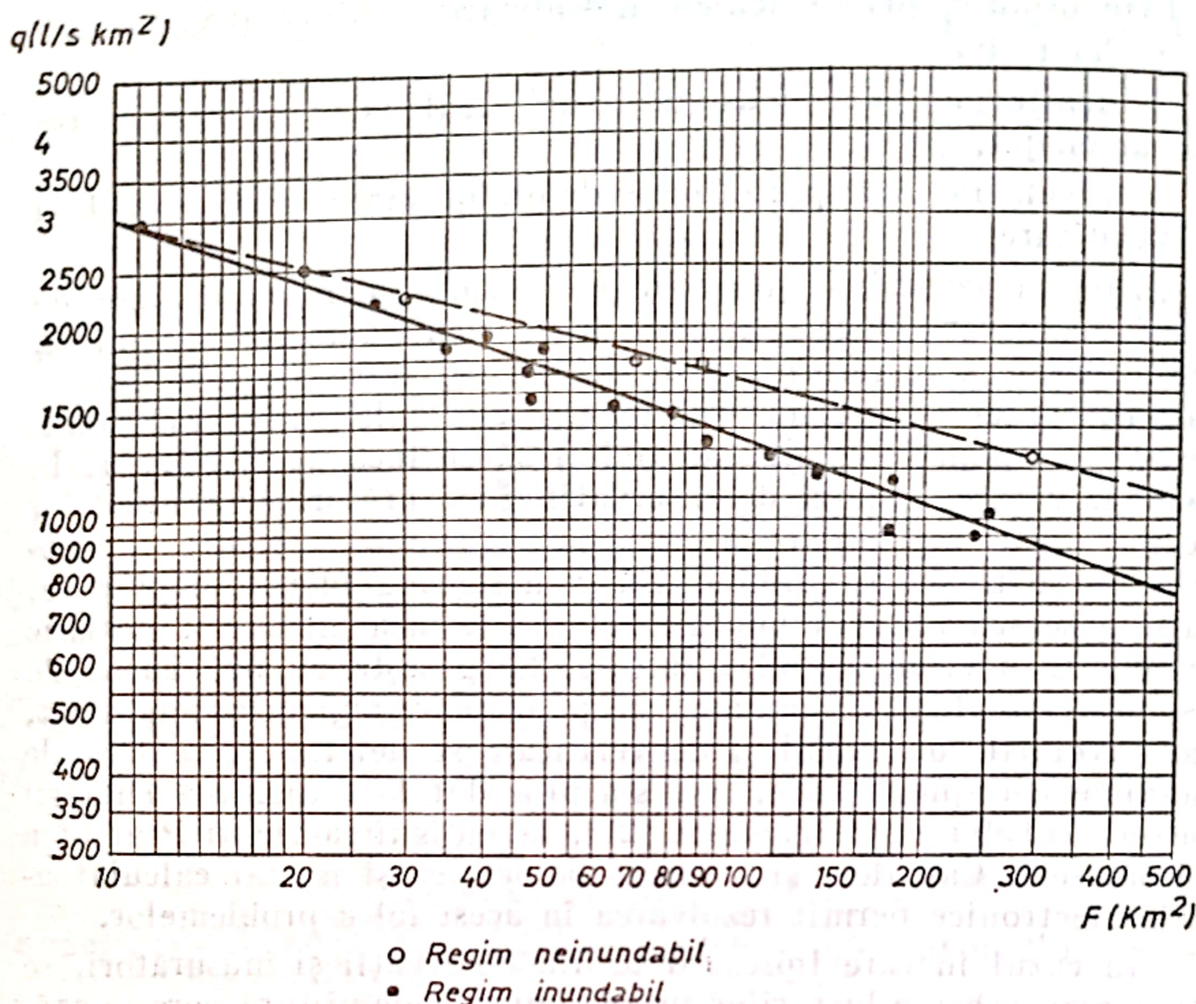


Fig. 1.12 — Corelația $q=q(F)$
○ Regim neinundabil; ● Regim inundabil

Există posibilitatea ca îndiguind numai rîul principal, să se creeze o suprapunere (respectiv o compunere) a undelor de viitură de pe afluenți și de pe rîul principal mult mai defavorabilă (vîrf pe vîrf), decît în regim natural. Totuși uneori se merge și pe această cale, luîndu-se în calcule două unde de viitură concrete, apropiate ca debit la vîrf de debite maxime cu asigurări date.

Sînt însă cazuri cînd datele hidrologice sînt atît de aproximative, încît nu se merită să se facă calcule hidraulice pentru determinarea debitului dezatenuat ΔQ_d. În aceste cazuri se încearcă să se determine debitul dezatenuat ΔQ_d prin calcule hidrologice, indirecte. Se procedează în felul următor:

— Se determină curba de generalizare a debitului specific q în l/s și km² în funcție de suprafața bazinului de recepție F în km² (corelația $q-F$) în regim inundabil existent (natural).

— Se determină apoi curba de generalizare a debitului specific q în funcție de suprafața bazinului de recepție F (corelația $q-F$), în

regim neinundabil, curbă care evident conduce la valori q mai mari decît în regim inundabil. Curbele se desenează pe un grafic cu scară dublu logaritmică (fig. 1.12) şi sînt valabile numai pentru zona respectivă unde au fost determinate.

Valorile mici ale suprafeţei bazinului de recepţie F corespund în general unor rîuri mici, fără luncă inundabilă sau cu luncă inundabilă foarte mică şi, prin urmare, la aceste valori F cele două curbe q se apropie foarte mult confundîndu-se. La valori F mari, diferenţa între cele două curbe reprezintă tocmai debitul specific dezatenuat Δq_a.

Toată problema constă în determinarea celor două curbe de generalizare $q=f(F)$, şi, în ultimă instanţă, a curbei de generalizare în regim neinundabil. Determinările sînt foarte aproximative şi susceptibile de erori; de aceea se recomandă construirea celor două curbe cu foarte multă atenţie, analizarea tuturor datelor de care se dispune, inclusiv a datelor cu privire la suprafaţa de teren inundabilă.

Evident la calculul debitului maxim în regim îndiguit, se va folosi în acest caz curba de generalizare $q=f(F)$ în regim neinundabil. Dar regimul neinundabil nu este identic cu regimul îndiguit. În regimul îndiguit nu mai participă la formarea debitului maxim suprafaţa de teren îndiguită sau izolată de îndiguiri. Prin urmare, dacă F este suprafaţa bazinului de recepţie într-o secţiune dată în regimul natural, iar ΔF este suprafaţa îndiguită în amonte de secţiunea respectivă, debitul specific q se va determina corespunzător suprafeţei $F_1=F-\Delta F$, iar debitul maxim în regim îndiguit va rezulta $Q_{max\ i}=q_1 F_1$. Se compară acest debit cu debitul maxim din regim natural determinat cu debitul specific q corespunzător suprafeţei F : $Q_{max\ n}=qF$. În mod curent $Q_{max\ i}>Q_{max\ n}$. Cazurile în care $Q_{max\ i}<Q_{max\ n}$ sînt rare.

Dacă apa colectată de pe suprafaţa îndiguită este pompată cu staţii de pompare în rîu în perioada de vîrf a viiturii, atunci la debitul Q_{max} trebuie adăugat debitul staţiei de pompare.

În felul acesta se determină debitele maxime de calcul şi de verificare. Cu cît datele din măsurători şi din observaţii sînt mai complete, cu atît şi rezultatele calculelor sînt mai precise. Metoda de calcul se alege ţinînd seama şi de volumul şi precizia datelor din măsurători.

Nivelurile corespunzătoare debitelor maxime de calcul şi de verificare se pot determina fie direct, efectuînd calcule hidraulice la aceste debite, fie cu ajutorul cheilor limnimetrice construite la debite de valori rotunde. Înainte însă de a se trece la dimensio-

narea digurilor, este necesar să se analizeze şi posibilitatea unor fenomene morfologice de depunere a aluviunilor în albie în regim îndiguit.

1.3.4. Calculul nivelurilor maxime ale apei în cazul îndiguirilor în zona confluenţelor «[20]»

În zona de confluenţă a două rîuri nivelurile apei depind atît de debitul pe un rîu, cît şi de debitul pe celălalt rîu. Nivelurile maxime se realizează în timpul viiturilor, iar viiturile pe cele două rîuri pot să nu coincidă sau pot să coincidă, uneori „vîrf pe vîrf". Ţinînd seama de această situaţie, metoda de calcul elaborată de autor foloseşte atît ecuaţiile hidraulicii, cît şi ecuaţiile teoriei probabilităţii.

Se presupune că lunca inundabilă de la confluenţa rîurilor R_a şi R_b (R_a — rîu principal, R_b — afluent) se preconizează a fi apărată prin îndiguire împotriva inundaţiilor care sînt provocate fie de rîul R_a, fie de rîul R_b, fie de amîndouă (fig. 1.13).

În cazul unui traseu dat al digurilor cota suprafeţei libere a apei z_1 într-o secţiune oarecare 1-1 pe rîul R_a în amonte de confluenţă, sau z_2 într-o secţiune 2-2 pe rîul R_b se exprimă sub forma generală:

$$z_1 = z_1 (Q_a, \ Q_b) \tag{1.52}$$

$$z_2 = z_2 (Q_a, \ Q_b) \tag{1.53}$$

Evident, debitul Q_c al rîului R_a în aval de confluenţă satisface relaţia:

$$Q_c = Q_a + Q_b \tag{1.54}$$

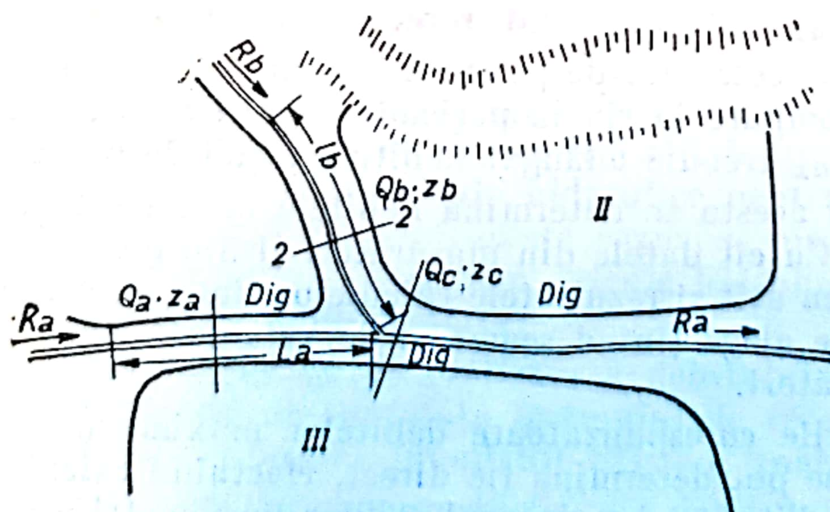


Fig. 1.13 — Schema de îndiguire la confluenţa a două rîuri

Pentru o pereche de debite Q_a şi Q_b se pot defini, atît pe rîul R_a, cît şi pe rîul R_b, secţiuni limită de la care în amonte nu se mai resimte influenţa confluenţei. Fie l_a şi l_b distanţele de la secţiunea de confluenţă pînă la aceste secţiuni limită. În general:

$$l_a = l_a(Q_a, Q_b) \quad (1.55)$$

$$l_b = l_b(Q_a, Q_b) \quad (1.56)$$

Se notează cu A — evenimentul ca pe rîul R_a în amonte de confluenţă să apară un debit mai mare sau egal cu debitul de asigurare $p(A)$, cu B — evenimentul ca pe rîul R_b să apară un debit mai mare sau egal cu debitul de asigurare $p(B)$ şi cu C — evenimentul ca pe rîul R_a în aval de confluenţă să apară un debit mai mare sau egal cu debitul cu asigurarea $p(C)$.

Se analizează, spre exemplu, incinta I, care se prevede a fi îndiguită la asigurarea p. Această incintă va trebui să fie apărată împotriva inundaţiilor atît în cazul evenimentului A, cît şi în cazul evenimentului B, evenimentele A şi B fiind considerate compatibile. Dacă incinta se întinde dincolo de secţiunile limită la distanţele l_a şi l_b de confluenţă, atunci se aplică relaţia de reuniune a evenimentelor:

$$p_I = p(A \cup B) = p(A) + p(B) - p(A \cap B) \quad (1.57)$$

sau

$$p_I = p(A) + p(B) - p(A)\ p(B/A) \quad (1.58)$$

unde:

$p(A \cap B)$ este probabilitatea de intersecţie a evenimentelor A şi B, iar $p(B/A)$ este probabilitatea evenimentului B în condiţiile în care evenimentul A s-a produs.

Mai întîi se iau în discuţie două cazuri limită:

— Rîurile R_a şi R_b se găsesc în condiţii dependente de formare a debitelor Q_a şi Q_b de aceeaşi asigurare (cazul rîurilor mici, în aceleaşi condiţii climatice şi fiziografice).

Rezultă:

$$p(A \cap B) = p(A) = p(B) \quad (1.59)$$

$$p_I = p(A) = p(B) \quad (1.60)$$

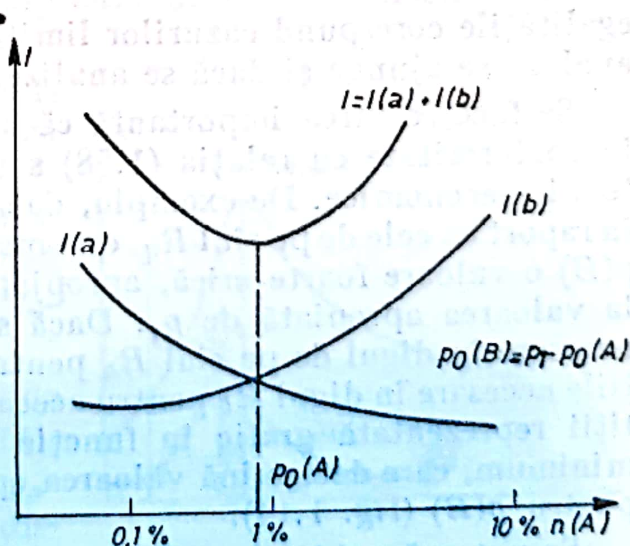


Fig. 1.14 — **Stabilirea valorii optime $p_0(A)$**

şi, prin urmare, asigurarea la care se proiectează incinta îndiguită corespunde cu asigurarea de calcul al debitului pe fiecare din rîuri.

— Rîurile R_a şi R_b se găsesc în condiţii independente de formare a debitelor Q_a şi Q_b de aceeaşi asigurare (cazul rîurilor mari sau de mărimi foarte diferite, cu bazine hidrografice în condiţii climatice şi fiziografice diferite).

În acest caz:

$$p(A \cap B) = p(A) \cdot p(B) \tag{1.61}$$

$$p_I = p(A) + p(B) - p(A) \cdot p(B) \tag{1.62}$$

Întrucît lucrările de îndiguire se proiectează la asigurări cifrice foarte mici, produsul $p(A) \cdot p(B)$ este neglijabil în raport cu $p(A)$ sau $p(B)$; în aceste condiţii relaţia (1.62) devine:

$$p_I = p(A) + p(B) \tag{1.63}$$

şi, prin urmare, asigurarea la care se proiectează incinta îndiguită este egală cu suma asigurărilor debitelor de calcul pe cele două rîuri. Dacă, de exemplu, din condiţii tehnico-economice se admite $p(A) = p(B)$, atunci, pentru ca incinta să nu se inunde mai rar sau cel mult o dată la sută de ani, trebuie ca $p(A) = p(B) = 0{,}5\%$. Cu alte cuvinte, digurile la distanţe de confluenţă mai mari de 1_a şi 1_b trebuie să fie proiectate la asigurări cifrice de două ori mai mici decît asigurarea incintei.

În cazul general:

$$p(A)\ [\text{sau } p(B)] \leqslant p_I \leqslant p(A) + p(B) \tag{1.64}$$

egalităţile corespund cazurilor limită analizate mai sus. La relaţii analoge se ajunge şi dacă se analizează incintele II şi III.

Se face remarca importantă că alegerea valorilor $p(A)$ şi $p(B)$ în conformitate cu relaţia (1.58) sau (1.63) se bazează pe calcule tehnico-economice. De exemplu, dacă digurile pe rîul R_b sînt mici în raport cu cele de pe rîul R_a, este mai economic să se aleagă pentru $p(B)$ o valoare foarte mică, apropiată de zero, menţinînd pe $p(A)$ la valoarea apropiată de p_I. Dacă se notează cu I(a) investiţiile necesare în digul de pe rîul R_a pentru incinta I şi cu I(b) investiţiile necesare în digul R_b pentru aceeaşi incintă, suma acestor investiţii reprezentată grafic în funcţie de asigurarea $p(A)$ are un minimum, care determină valoarea optimă pentru $p(A)$ şi respectiv pentru $p(B)$ (fig. 1.14).

Se notează $p_0(A)$ şi $p_0(B)$ valorile celor două asigurări obţinute astfel prin calcule tehnico-economice. Odată $p_0(A)$ şi $p_0(B)$ stabi-

lite, determinarea cotelor suprafeței libere a apei se face prin calcule obișnuite de remuu.

Se analizează problema în două situații:

— cînd se dispune de hidrografele debitelor în perioada de viituri pe un număr mare de ani de observații ($n>20-25$) atît pe rîul R_b, cît și pe rîul R_a în amonte și în aval de confluență;

— cînd datele hidrometrice sînt insuficiente sau lipsesc total.

În primul caz problema se rezolvă prin *simularea viiturilor* pe cele două rîuri cu ajutorul calculatoarelor electronice, efectuînd calcule de remuu atît pe rîul R_a cît și pe rîul R_b, cu condițiile de racordare în secțiunea de confluență.

Astfel:

$$z_a = z_b$$

$$Q_c = Q_a + Q_b$$

Calculele se efectuează pentru fiecare pereche de debite ale undelor de viitură din perioada de n ani de observații pe cele două rîuri. Este ca și cum s-ar presupune că îndiguirea a fost executată cu n ani în urmă și s-au înregistrat nivelurile în toate secțiunile de calcul și în toți acești ani. În fiecare an și în fiecare secțiune se obține o valoare maximă z_{max}. Construind curbele de asigurare ale nivelurilor maxime în fiecare secțiune, se pot determina valorile nivelurilor maxime cu asigurări date. Pentru secțiunile cuprinse pe distanțele 1_a și 1_b asigurarea nivelurilor maxime se ia egală cu p_I. Pentru secțiunile la distanțe mai mari de 1_a și 1_b asigurarea nivelurilor maxime z_{max} se ia egală cu $p_0(A)$ și respectiv $p_0(B)$. Calculele sînt voluminoase și necesită mult timp chiar și în cazul folosirii calculatoarelor electronice.

Mai expeditiv, calculele pot fi efectuate pornind de la asigurarea debitelor. În acest scop se consideră hidrografele debitelor corespunzătoare în timp pe cele două rîuri R_b și R_a în aval de confluență (fig. 1.15).

Este evident că în punctul de confluență nivelul maxim se obține pentru debitul maxim $Q_{c\ max}$. Într-o secțiune pe rîul R_b la distanță mai mare de 1_b la confluență, este evident, de asemenea,

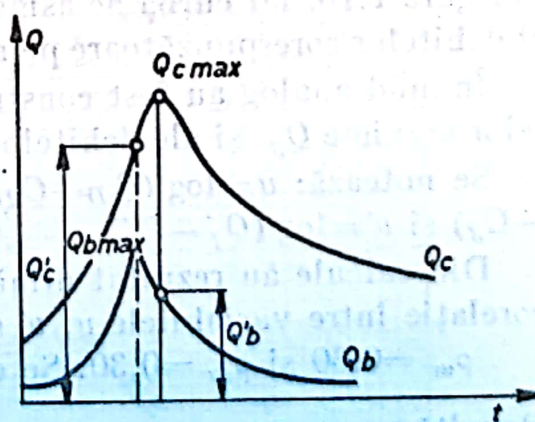


Fig. 1.15 — **Hidrografele debitelor corespondente la confluență**

că nivelul maxim se obţine pentru $Q_{b\ max}$, oricare ar fi Q_c. Calculele arată că în secţiunile intermediare pe rîul R_b nivelurile maxime sînt date fie de asociaţia $Q_{c\ max}$, Q'_b, fie de asociaţia $Q_{b\ max}$, Q'_c, unde Q'_b şi Q'_c sînt debitele corespunzătoare în timp vîrfurilor $Q_{c\ max}$ şi respectiv $Q_{b\ max}$.

Se calculează asigurările bidimensionale log-normale ale variabilelor aleatorii $Q_{c\ max}$, Q'_b şi $Q_{b\ max}$, Q'_c după metoda expusă în [20]. Pe curbele de intersecţie $Q_{c\ max}$, Q'_b şi $Q_{b\ max}$, Q corespunzătoare asigurării de calcul, se determină debitele de calcule Q_{c0}, Q'_{b0} şi Q_{b0} Q'_{c0}, care duc la niveluri maxime. Din calcule rezultă că situaţia cea mai defavorabilă corespunde relaţiilor:

$$Q_{c0} \simeq (0{,}05-0{,}90)\ Q_{c\ max} \tag{1.65}$$

Q'_{b0} — corespunzător pe curba de intersecţie;

$$Q_{b0} \simeq (0{,}95-0{,}90)\ Q_{b\ max}$$

Q'_{c0} — corespunzător pe curba de intersecţie;

unde: $Q_{c\ max}$ şi $Q_{b\ max}$ sînt debite maxime la asigurarea de calcul, calculată marginal (pe fiecare rîu în parte).

Calculele de remuu se fac pe două perechi de debite Q_{c0}, Q'_{b0} şi Q_{b0}, Q'_{c0}.

În acelaşi mod se efectuează calculele şi pentru îndiguirile de pe rîul R_a în amonte de confluenţă.

Drept exemplu se prezintă calculele hidraulice pe rîul J la confluenţa cu rîul D. Curba de asigurare a coeficientului de modul K_D al debitelor maxime pe rîul D aval de confluenţă este prezentată în figura 1.16, iar curba de asigurare a coeficientului de modul K'_J al debitelor corespunzătoare pe rîul J este prezentată în figura 1.17.

În mod analog au fost construite curbele de asigurare ale debitelor maxime Q_J şi ale debitelor corespunzătoare Q'_D.

Se notează: $u=\log(Q_D-C_D)$; $u'=\log(Q'_D-C'_D)$; $v=\log(Q_J-C_J)$ şi $v'=\log(Q'_J-C'_J)$.

Din calcule au rezultat următoarele valori ale coeficienţilor de corelaţie între variabilele u, v' şi v u':

$\rho_{uv'}=0{,}60$ şi $\rho_{vu'}=0{,}30$. Se cunosc $p_I=1\%$, $p_0(J)=0{,}5\%$.

Rezultă:

$$Q_{D_{1\%}}=17\ 500\ \text{m}^3/\text{s},\quad Q_{J_{0,5\%}}=840\ \text{m}^3/\text{s}.$$

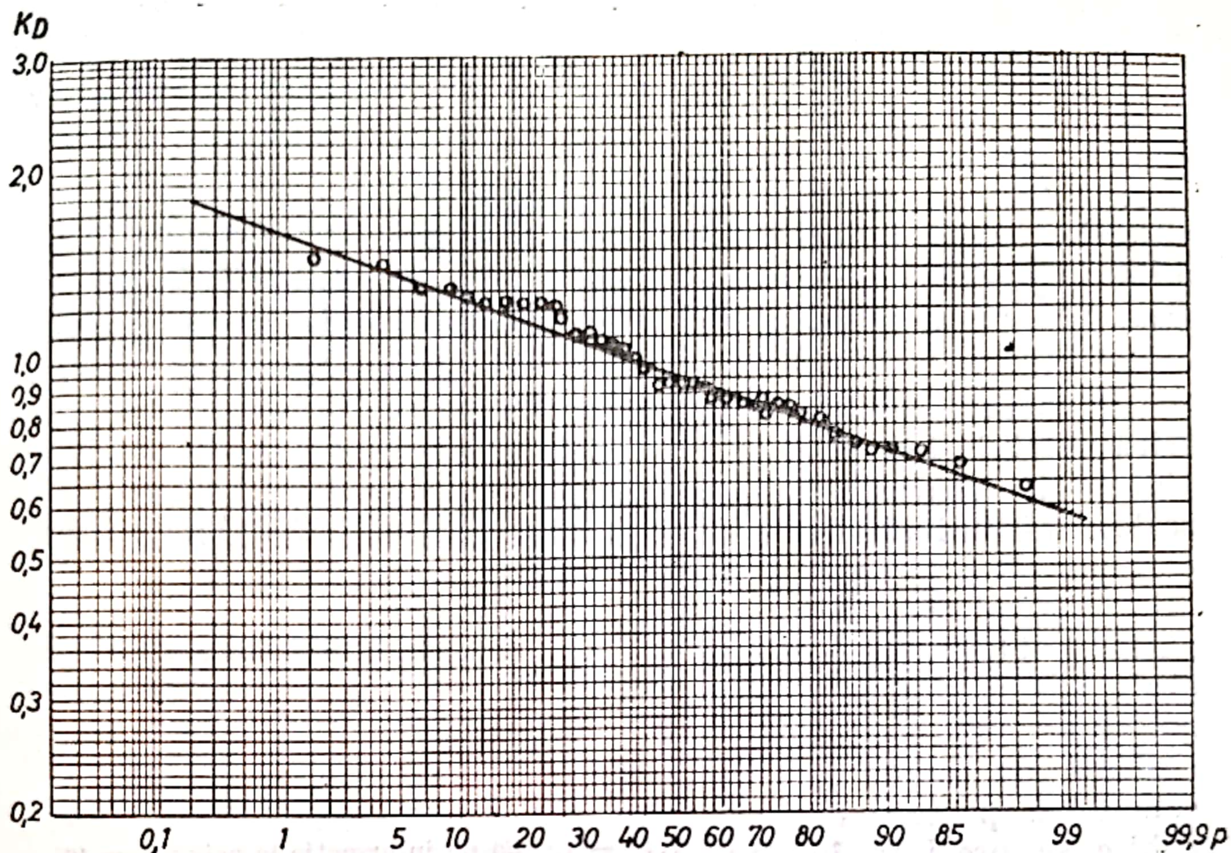
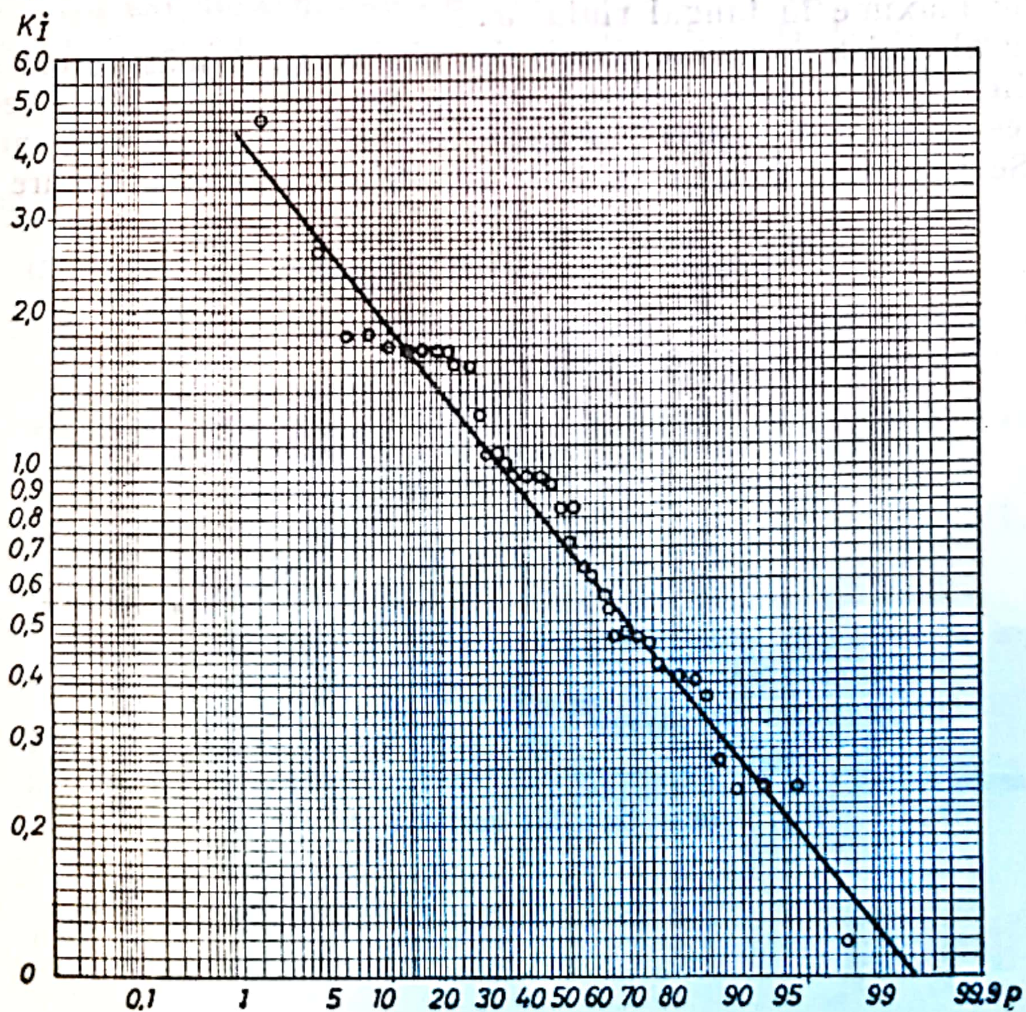


Fig. 1.16 — Curba de asigurare a debitelor maxime pe rîul D

Fig. 1.17 — Curba de asigurare a debitelor corespunzătoare pe rîul I



Folosind relațiile (1.65) și (1.66) pe curbele de intersecție (fig. 1.18) se admit valorile $Q_{DO}=17\,500$ m³/s, $Q'_{J0}=150$ m³/s, $Q_{J0}=840$ m³/s; $Q'_{D0}=$ $=10\,000$ m³/s.

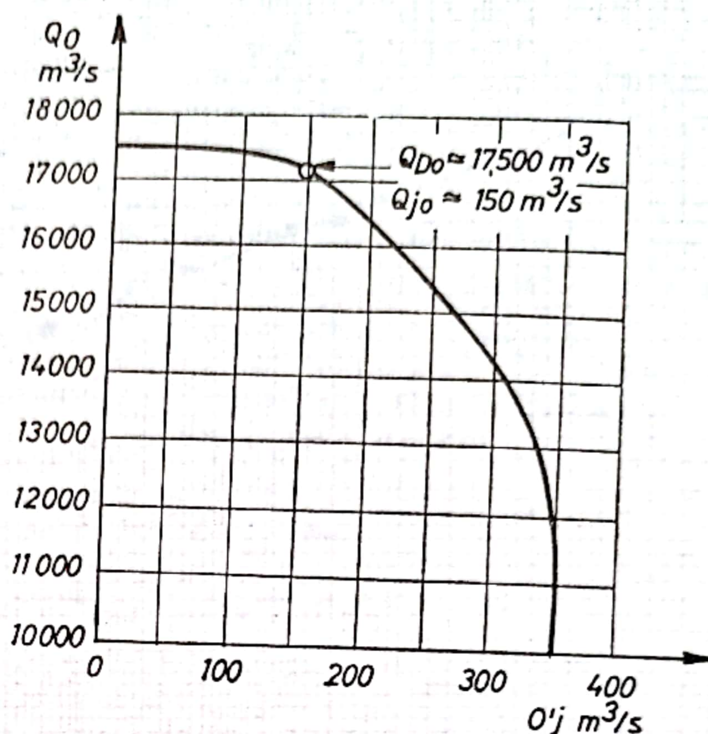


Fig. 1.18 — Curba de intersecție la asigurarea 1%

Pe cheia limnimetrică pe rîul D în secțiunea de confluență se determină nivelurile corespunzătoare debitelor Q_{D0} și Q'_{D0}. Rezultă: $z=11{,}00\ mM.N.$ și $z'=8{,}50\ mM.N.$ Rezultatele calculelor curbelor de remuu la cele două perechi de debite se prezintă în figura 1.19.

Pentru dimensionarea digurilor se admite înfășurătoarea nivelurilor maxime în lungul rîului J.

În al doilea caz, cînd datele din observații și măsurători sînt insuficiente sau lipsesc complet, se desenează unda de viitură teoretică cu asigurarea p_I pe rîul R_a aval de confluență și componenta Q_b. Se determină $Q_{c\ max}$, Q'_b și $Q_{b\ max}$, Q'_c la această asigurare p_I.

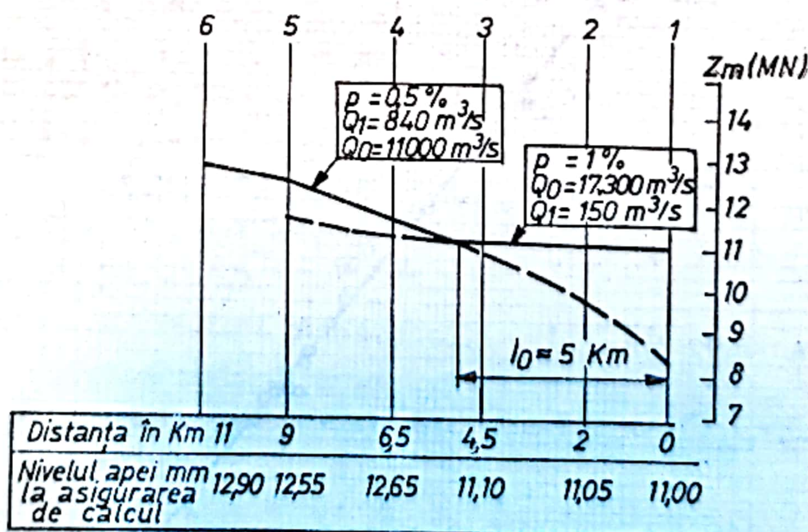


Fig. 1.19 — Calculul curbelor de remuu

Se determină apoi debitul maxim Q_{bmax} la asigurarea $p_0(B)$ şi debitul corespunzător Q'_{c0} cu relaţia:

$$Q'_{c0} = Q'_c \frac{\widetilde{Q}_{b\,max}}{Q_{b\,max}} \quad (1.67)$$

Calculul curbelor de remuu se efectuează la perechile de debite $Q_{c\,max}$, Q'_b — corespunzătoare asigurării p_I şi $Q_{b\,max}$ Q'_c corespunzătoare asigurării $p_0(B)$. Rezultatele calculelor sînt aproximative, datorită în primul rînd caracterului convenţional al undelor de viitură.

1.4. Date hidraulice referitoare la structura curenţilor în albiile rîurilor

În marea majoritate a cazurilor în albiile rîurilor raportul între adîncimea medie h_0 şi lăţimea B măsurată la oglinda apei este atît de mic, încît se poate înlocui perimetrul udat λ cu lăţimea albiei B, iar raza hidraulică R — cu adîncimea medie a curentului ($h_0 < (10-20)\,B$).

1.4.1. Viteza medie în secţiune. Distribuţia curentului vitezei pe adîncimea şi lăţimea albiei în sectoare rectilinii

Pentru calculele hidraulice aproximative în sectoare rectilinii viteza medie a curentului şi debitul lichid pot fi determinate cu relaţiile mişcării uniforme:

$$v = C\sqrt{Ri}; \qquad Q = \omega C\sqrt{Ri} \quad (1.68)$$

unde:

$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$ este coeficientul lui Chézy, de viteză;

n — coeficientul de rugozitate, care se determină pe bază de măsurători sau aproximativ, cu ajutorul tabelului 1.1.

Distribuţia vitezei curentului pe verticală este redată aproximativ de relaţia:

$$\frac{u}{v_{max}} = \left(\frac{y}{h}\right)^{n_0} \quad (1.69)$$

unde:

v_{max} este viteza maximă a curentului în verticala respectivă la suprafaţa apei ($z=h$);

h — adîncimea curentului de apă;

y — distanţa de la fundul apei;

n_0 — un exponent care, în cele mai multe cazuri are valoarea $\frac{1}{7}$

În plan orizontal (fig. 1.20) distribuţia vitezei medii pe verticală a curentului, u poate fi determinată aproximativ cu relaţia:

$$\overline{u}=a_k \frac{h^{1/6}}{n} \cdot \sqrt{h\,i} \qquad (1.70)$$

unde:

h este adîncimea curentului în verticala respectivă;
n — coeficientul de rugozitate, iar
a_k — coeficientul de corecţie care se determină din condiţia ca însumarea vitezelor pe lăţimea albiei să ne dea debitul Q.

$$\int_0^B \overline{u}\, d\, b=Q \qquad (1.71)$$

1.4.2. Efortul unitar tangenţial (de frecare) pe patul albiei, pe sectoare rectilinii

Distribuţia efortului unitar tangenţial, de frecare, în lungul perimetrului muiat în albii rectilinii depinde de forma secţiunii transversale a albiei. Valoarea medie a acestui efort unitar are expresia cunoscută

$$\tau=\gamma R i \qquad (1.72)$$

care se obţine din ecuaţia de echilibru dinamic al lichidului în mişcare uniformă pe un tronson de albie de lungime l, avînd panta fundului i (γ — greutatea specifică a lichidului, R — raza hidraulică).

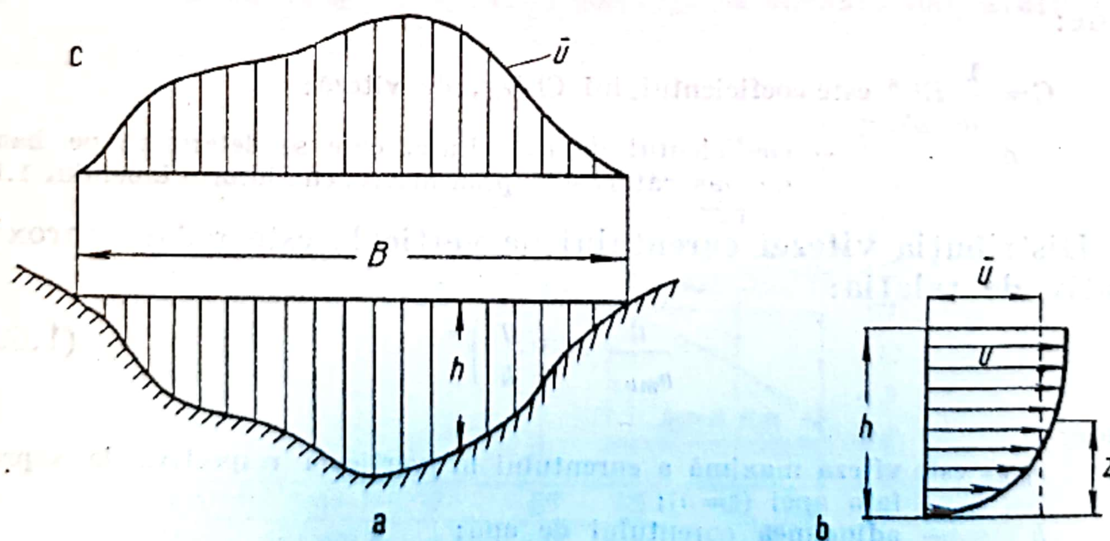


Fig. 1.20 — **Distribuţia vitezei curentului într-o albie naturală:** *a* — adîncimea *h* a curentului; *b* — vizează *u* într-o verticală; *c* — viteza $\overline{u}$ în planul curgerii

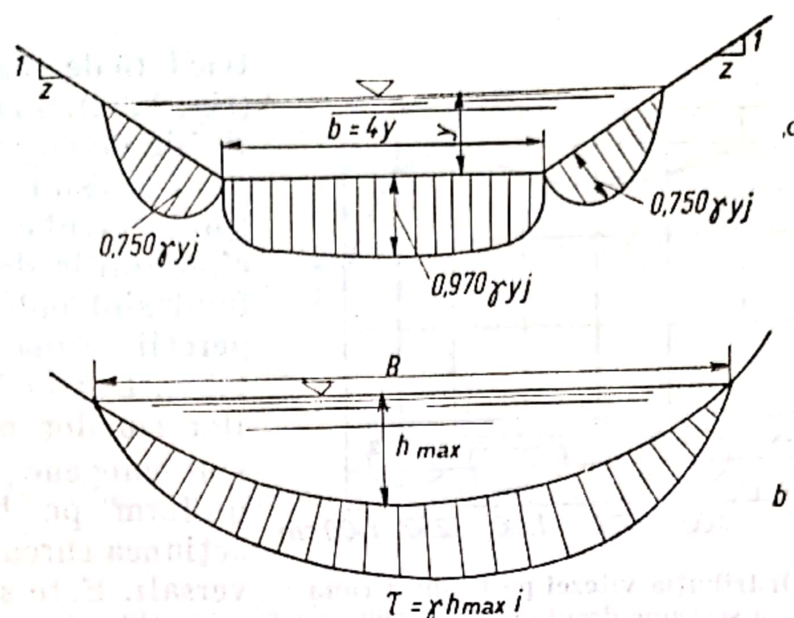


Fig. 1.21 — Distribuţia efortului de frecare la perete:
a — secţiune trapezoidală; *b* — secţiune oarecare

În cazul canalelor de secţiune trapezoidală distribuţia efortului unitar tangenţial pe perimetrul muiat, determinată prin analogie cu distribuţia eforturilor unitare în membrane cu acelaşi contur, este prezentată în figura 1.21, *a*.

În cazul albiilor de rîuri, distribuţia efortului unitar tangenţial de frecare la perete este prezentată calitativ în figura 1.21, *b*.

Cunoaşterea efortului unitar tangenţial pe patul albiei prezintă importanţă la determinarea condiţiilor de stabilitate a albiei în secţiune.

1.4.3. Circulaţia transversală a curenţilor în albiile rîurilor meandrate

Aşa cum se va arăta în capitolul 2 traseul normal al albiilor rîurilor este traseul meandrat, care corespunde de fapt energiei minime disipate a curentului.

Apariţia şi formarea meandrelor se explică prin două cauze mai importante, pe de o parte prin circulaţia transversală, care apare şi în albiile rectilinii, pe de altă parte prin deformarea neuniformă a malurilor albiei la acţiunea de erodare a curenţilor.

În albiile rectilinii circulaţia transversală a apei a fost pusă în evidenţă încă de la începutul acestui secol. Experienţe sistematice au arătat că datorită circulaţiei transversale, viteza maximă a curentului într-un canal cu secţiune dreptunghiulară se realizează nu în centrul canalului, ci pe două sau mai multe verticale dispuse sime-

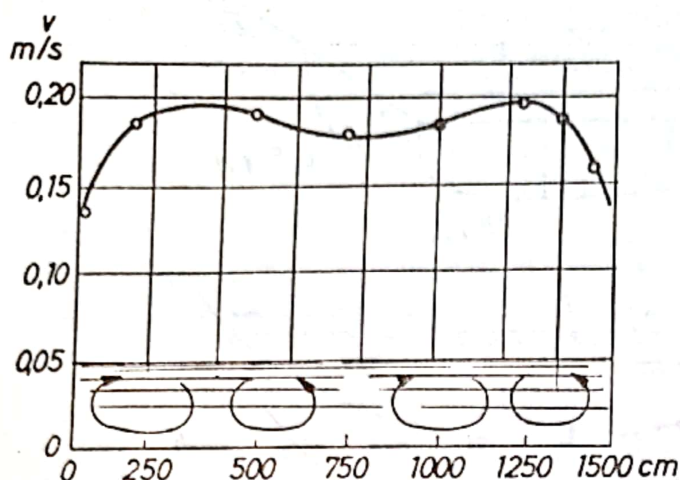


Fig. 1.22 — Distribuţia vitezei pe lăţimea canalului cu secţiune dreptunghiulară

tric faţă de planul median (fig. 1.22). În felul acesta liniile de curent de la suprafaţă sînt îndreptate spre centrul canalului, pe cînd liniile de curent de fund sînt îndreptate spre pereţii canalului (fig. 1.23). Dar malurile albiilor rîurilor naturale nu sînt omogene şi nu rezistă uniform pe lungime la acţiunea curenţilor transversali. Este suficient să apară o neuniformitate în linia malului sau a patului albiei pentru ca această circulaţie transversală să se dezaxeze, albia să capete o tendinţă de meandrare. Meandrele o dată formate schimbă complet structura cinematică a curentului, dîndu-i o circulaţie transversală unică şi de un singur sens, iar curentul astfel deformat accentuează şi mai mult dezvoltarea meandrelor.

În meandre, suprafaţa liberă a apei capătă o pantă transversală, i_r, care se datoreşte forţei centrifuge cu care curentul de apă este împins spre malul concav. Într-adevăr, dacă se neglijază forţele de frecare pe patul albiei pe direcţia razei r, condiţia de echilibru a unei prisme de apă de înălţime h avînd la bază un dreptunghi cu laturile dr şi dl (fig. 1.24), este:

$$R = \Delta P \tag{1.73}$$

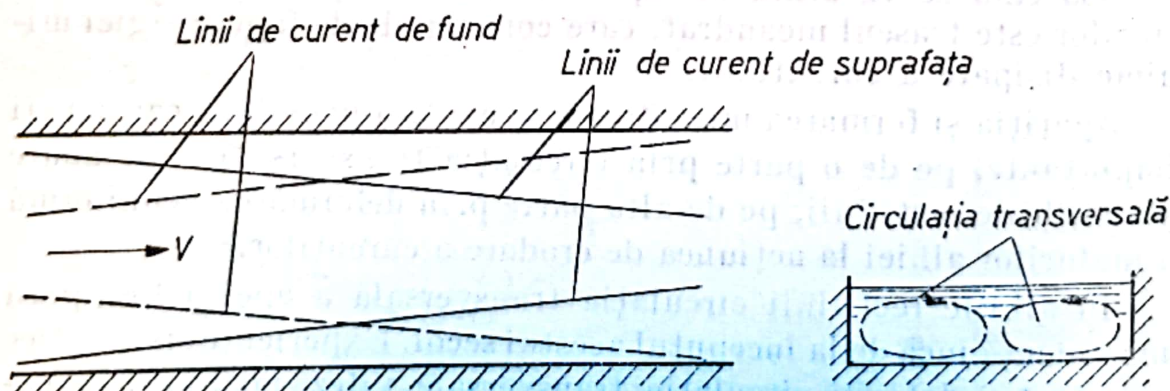


Fig. 1.23 — Liniile de curent de suprafaţă şi de fund la curgerea apei în canal cu circulaţia transversală

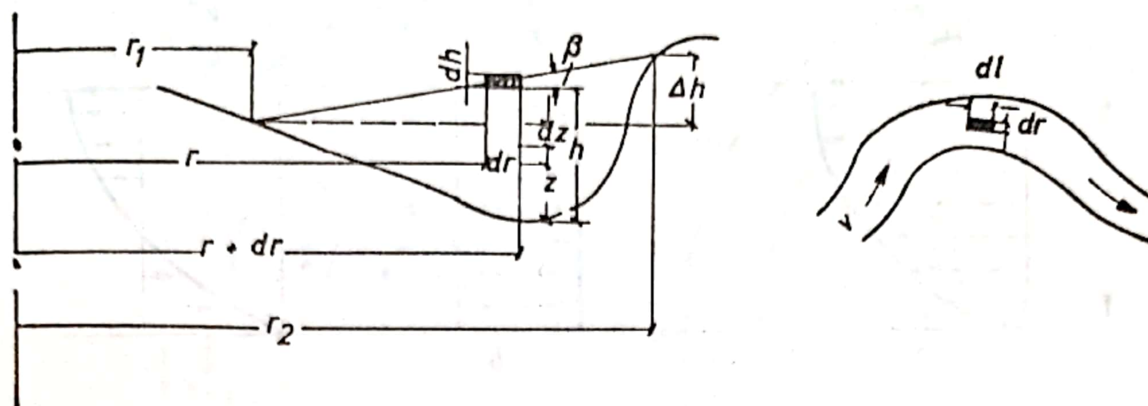


Fig. 1.24 — Condițiile de echilibru al unei prisme de apă în cotul albiei

unde:

R este forța centrifugă în curbă a prismei;
ΔP — diferența forțelor de presiune de o parte și de alta a prismei pe direcția razei r.

Forța R are expresia:

$$R = \int_0^h \rho \frac{v^2}{r} dz\, dr\, dl = \frac{\rho \alpha v^2}{r} h\, dr\, dl \qquad (1.74)$$

unde:

α este coeficientul lui Coriolis;
ρ — masa specifică;
r — raza de curbură a meandrei.

Pentru forța ΔP se obține expresia:

$$\Delta P = \frac{d}{dr}\left(\gamma \frac{h^2}{2}\right) dr\, dl = \gamma h\, dr\, dl = \frac{dh}{dr} = \gamma h\, i_r\, dr\, dl \qquad (1.75)$$

unde:

$$i_r = \operatorname{tg} \beta = \frac{dh}{dr}$$

După înlocuirile respective, relația (1.73) devine:

$$i_r = \frac{\alpha v^2}{gr} \qquad (1.76)$$

iar diferența de nivel de la un mal la altul:

$$\Delta h = \frac{v^2}{g r_m} B \qquad (1.77)$$

unde:

$$r_m = \frac{r_1 + r_2}{B}, \qquad B \text{ — lățimea albiei}$$

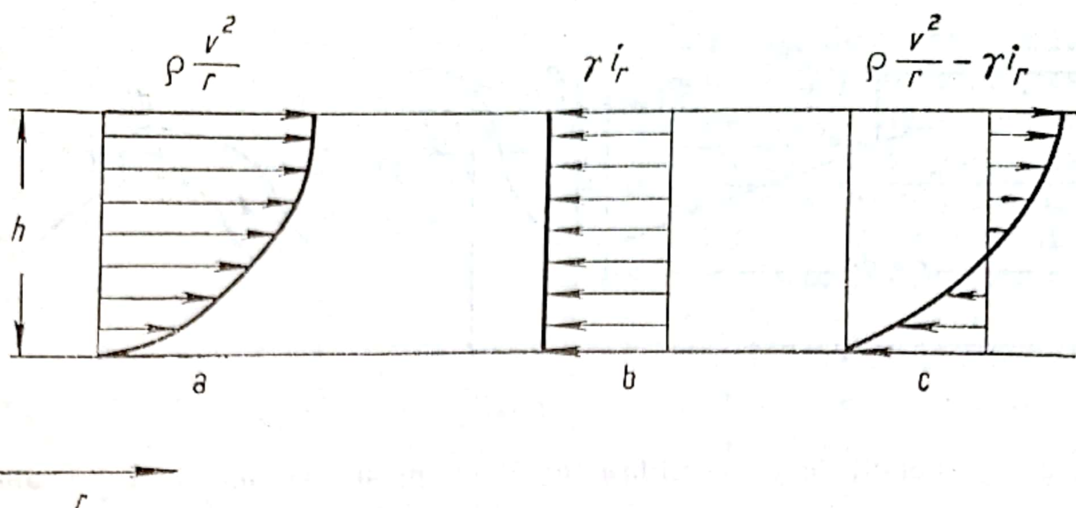


Fig. 1.25 — Schema apariţiei circulaţiei transversale în coturile albiei

Prin urmare, panta transversală în coturi este direct proporţională cu pătratul vitezei curentului şi invers proporţională cu raza de curbură.

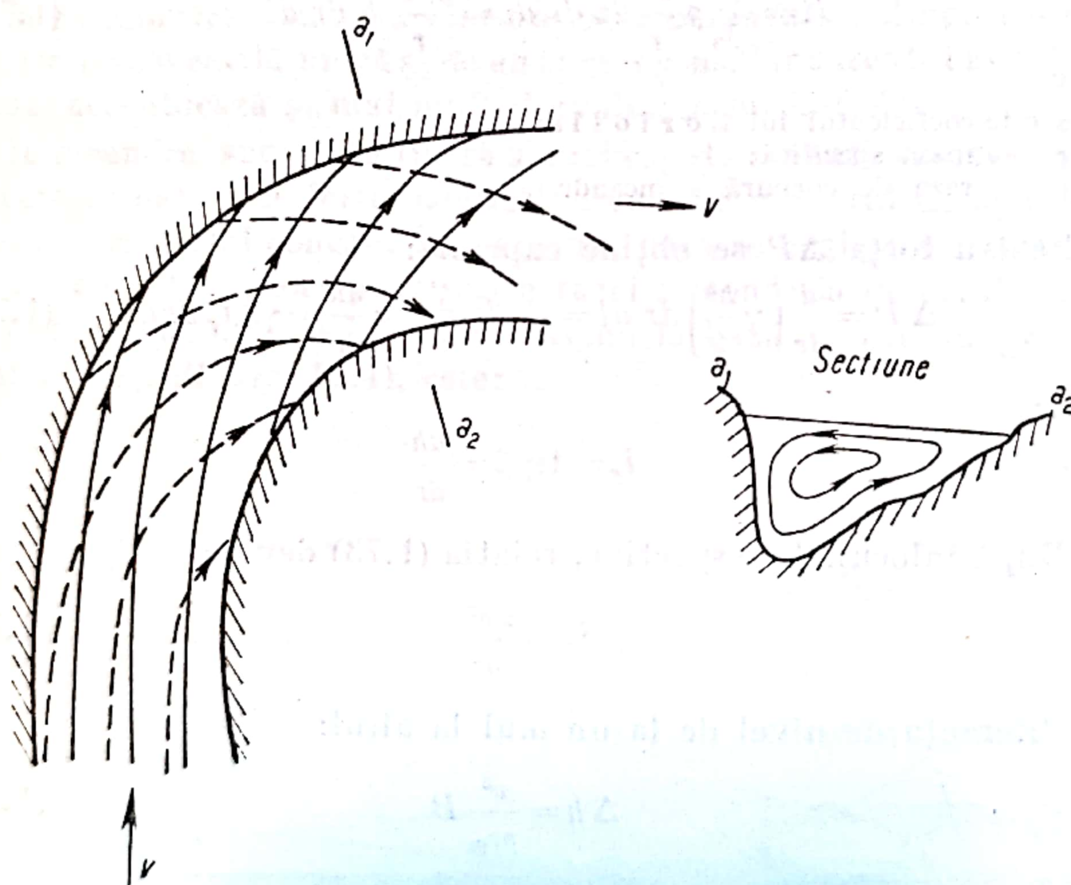


Fig. 1.26 — Circulaţia transversală în coturi:
——— linii de curent de suprafaţă; — — — — linii de curent de fund

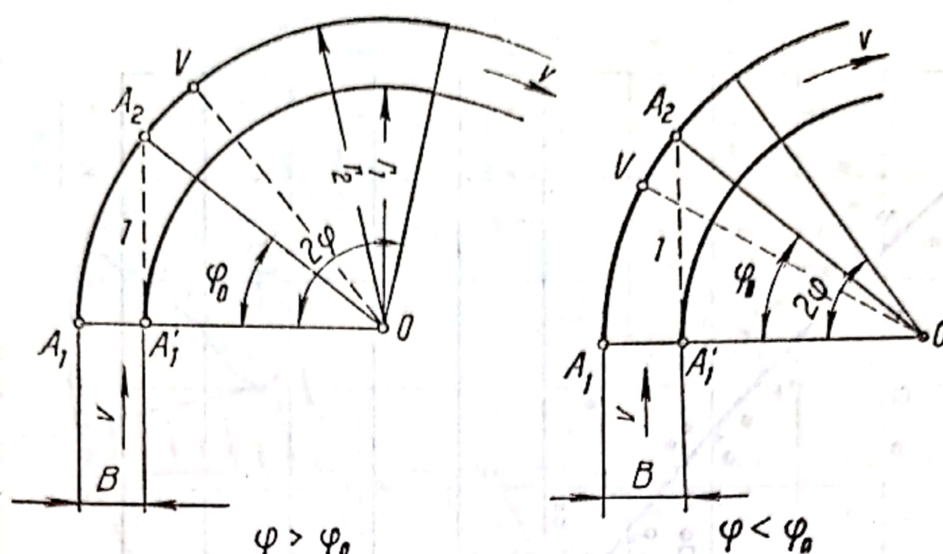


Fig. 1.27 — Secţiunea cu circulaţie transversală de intensitate maximă

Însă repartiţia vitezei longitudinale a curentului este diferită de cea uniformă (fig. 1.20 *b*). Din acest motiv, nici forţa centrifugă a curentului nu se repartizează uniform, fiind proporţională cu pătratul vitezei. Pe aceeaşi verticală, particula de apă se găseşte supusă, în principal, sub acţiunea a două forţe: forţa centrifugă $\rho \frac{v^2}{r}$ care variază cu pătratul vitezei (fig. 1.25 *a*) şi forţa datorită pantei transversale, i_r de sens invers forţei centrifuge, însă constantă pe adîncime (fig. 1.25, *b*). Însumînd cele două forţe, rezultă că sistemul nu este în echilibru (fig. 1.25, *c*) şi prin urmare apare o mişcare a particulelor de apă de la suprafaţă către malul concav, iar a particulelor de apă de la fundul albiei — către malul convex. În felul acesta se explică circulaţia transversală în albiile rîurilor meandrate (fig. 1.26).

Circulaţia transversală a curentului în albiile rîurilor în coturi a făcut obiectul a numeroase cercetări experimentale şi teoretice.

Intensitatea circulaţiei transversale depinde de raza de curbură a axului albiei r_m şi de unghiul de curbură al albiei.

Importanţa practică deosebită prezintă cunoaşterea secţiunii în care circulaţia transversală are intensitatea maximă, pentru că în această secţiune este indicată amplasarea prizelor de apă la malul concav. Experienţele arată că în cazul unui cot de curbură uniformă secţiunea cu circulaţie transversală de intensitate maximă este OA_2 (fig. 1.27), punctul A_2 fiind la distanţa l de secţiunea OA_1 de intrare în curbă [52]. Avem relaţiile:

$$l = r_2 \sin \varphi_0; \quad \varphi_0 = \arccos \frac{r_1}{r_2}$$

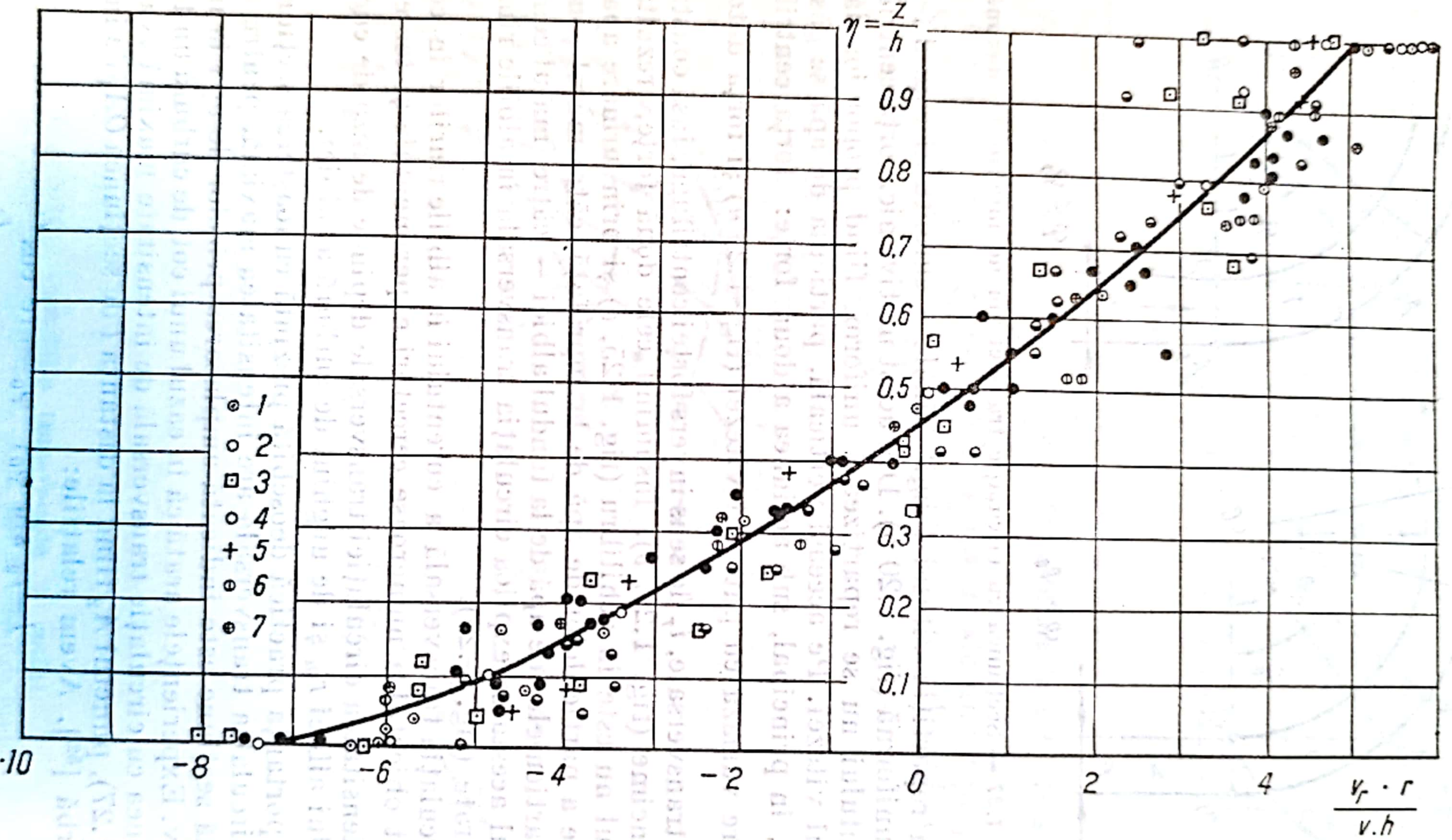


Fig. 1.28 — **Distribuţia pe verticală a vitezei radiale a curentului în coturi (după Rozovski):**
— **curba teoretică; 1-5 experienţe în albii dreptunghiulare; 6-7 experienţe în albii trapezoidale**

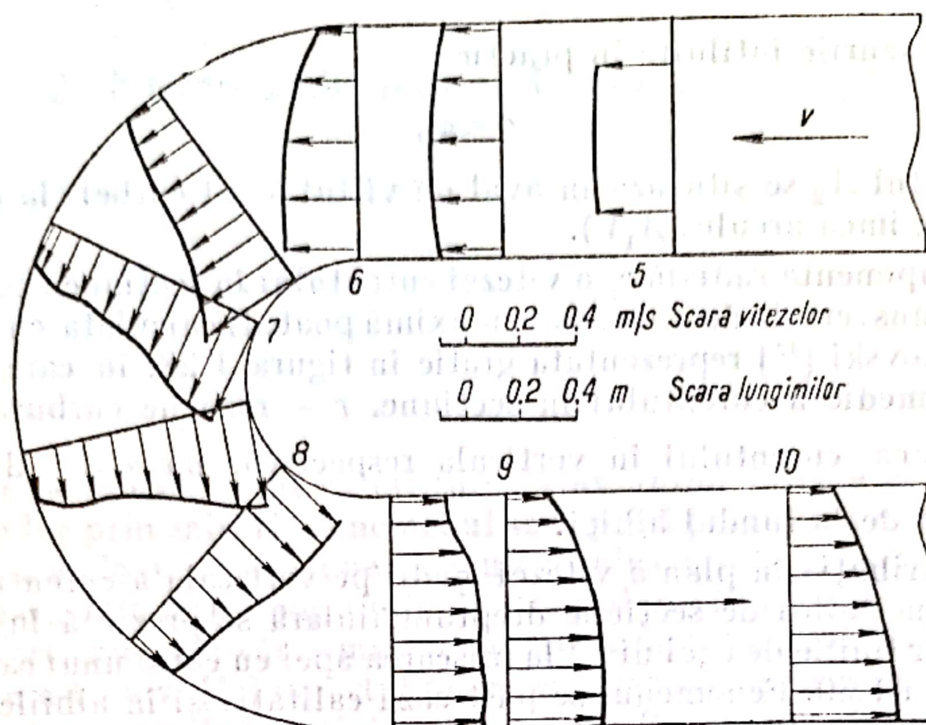


Fig. 1.29 — Distribuţia în plan a vitezei medii pe verticală a curentului în cotul unei albii (după R o z o v s k i)

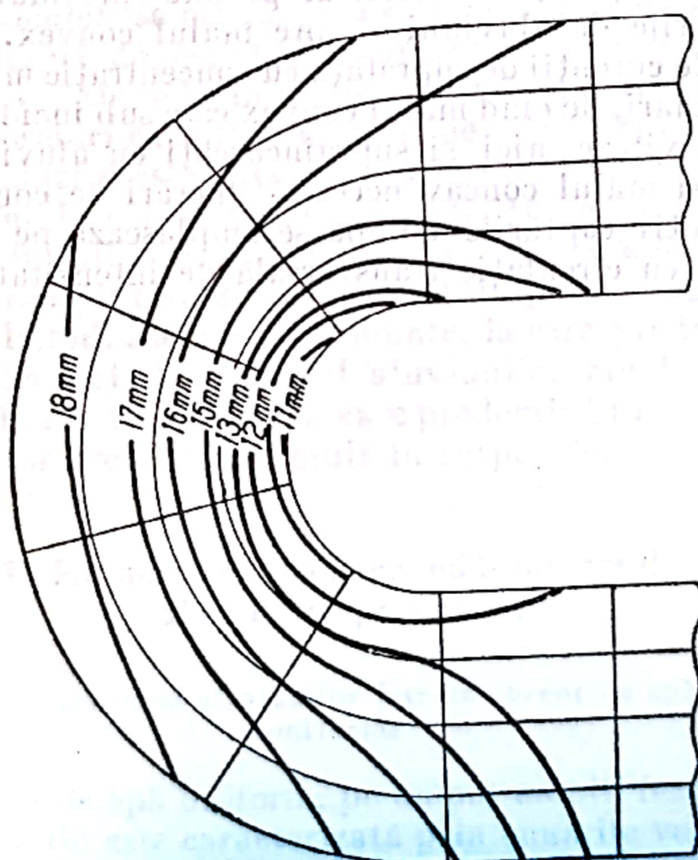


Fig. 1.30 — Liniile de egal nivel la mişcarea apei în cotul unui canal (după R o z o v s k i)

În cazurile intîlnite în practică

$$\varphi < \varphi_0$$

şi punctul A_2 se situează în aval de vîrful V al curbei (la cca 1/3 din lungimea arcului A_1V).

Componenta radială v_r a vitezei curentului în secţiunea cu circulaţia transversală de intensitate maximă poate fi calculată cu relaţia lui Rozovski [43] reprezentată grafic în figura 1.28, în care v este viteza medie a curentului în secţiune, r — raza de curbură, h — adîncimea curentului în verticala respectivă, iar $\eta = \frac{z}{h}$ distanţa relativă de la fundul albiei.

Distribuţia în plan a vitezei medii pe verticală a curentului în cotul unei albii de secţiune dreptunghiulară se prezintă în figura 1.29, iar liniile de egal nivel la mişcarea apei cu cotul unui canal — în figura 1.30. Fenomenul se păstrează calitativ şi în albiile naturale.

Structura curenţilor în coturi explică de ce eroziunile şi adîncimile maxime în albiile rîurilor se produc spre malul concav, pe cînd depunerile de aluviuni — spre malul convex. Malul concav este atacat de curenţii de suprafaţă cu concentraţie mică de aluviuni şi cu viteze mari, pe cînd malul convex este sub incidenţa curenţilor de fund, cu viteze mici şi supraîncărcaţi cu aluviuni. Din acest motiv numai malul concav necesită lucrări de consolidare şi tot din acest motiv captările de apă se amplasează pe malul concav, în secţiunea cu circulaţie transversală de intensitate maximă.

2. Mişcarea aluviunilor în albiile rîurilor

Este cunoscut faptul că mişcarea aluviunilor într-un curent de apă are loc prin salturi. Fenomenul se explică prin aceea că într-un curent turbulent, asupra unei granule de aluviuni de pe patul albiei acţionează atît forţe longitudinale (frontale), cît şi forţe ascensionale (verticale) ale căror mărimi au un caracter pulsatoriu. După D e m e n t i e v [32] raportul între forţa ascensională şi forţa frontală poate ajunge la valori de ordinul 0,3—0,7 şi uneori mai mari. În funcţie de mărimea saltului, o particulă solidă poate să se găsească mai aproape sau mai departe de suprafaţa patului albiei. Numai în rare cazuri particulele se mişcă prin simplă alunecare sau rostogolire, fără să se desprindă de pat. Prin urmare, noţiunile de transport al aluviunilor prin tîrîre şi în suspensie sînt relative, fiind vorba mai mult de deosebiri cantitative, decît de deosebiri calitative. Cu toate acestea, astăzi aceste noţiuni s-au încetăţenit în literatura de specialitate şi înţelegem prin transport prin tîrîre, transportul aluviunilor pe fundul albiei sau în imediata apropiere a fundului albiei, iar prin transport în suspensie — transportul aluviunilor în masa de curent lichid. La rîurile de munte, la care predomină prundişuri şi bolovănişuri, transportul aluviunilor are loc mai mult prin tîrîre, iar la rîurile de şes, la care predomină nisipurile, transportul aluviunilor are loc mai mult în suspensie.

2.1. Formule de calcul privind transportul aluviunilor prin tîrîre

2.1.1. Antrenarea aluviunilor într-un curent de apă uniformă

Într-un curent de apă uniform, pe un pat mobil, faza de început a transportului solid este caracterizată prin anumite valori, numite critice, ale mărimilor caracteristice ale curentului.

Astfel de mărimi sînt considerate fie efortul tangenţial unitar pe patul albiei, fie viteza medie a curentului.

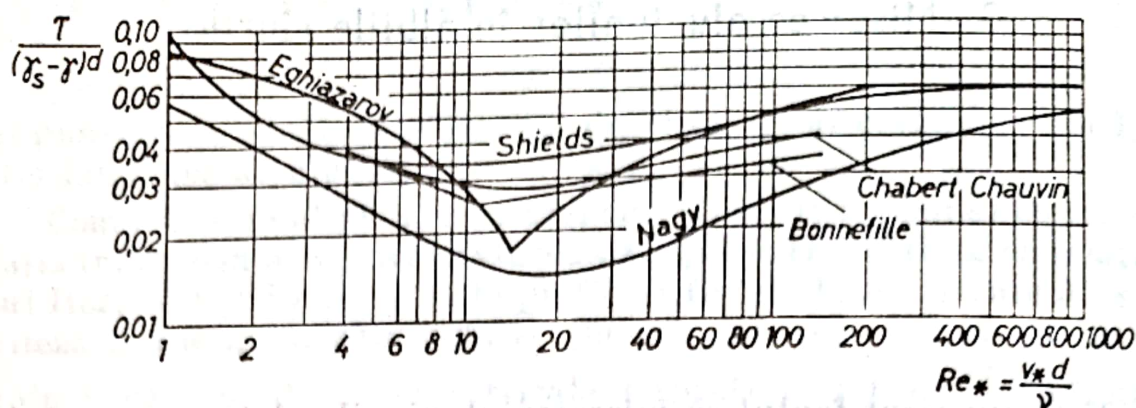


Fig. 2.1 — Graficul funcţiei $\frac{\tau}{(\gamma_s-\gamma)d}=f(Re_*)$ după diverşi cercetători

Formule bazate pe efortul critic de antrenare. S h i e l d s [46] în 1936 a avut ideea de a prelucra datele experimentale sub forma:

$$\frac{\tau}{(\gamma_s-\gamma)d}=k \tag{2.1}$$

unde:

k este o funcţie de $Re_*=\frac{v_* d}{\nu}$, $v_*=\sqrt{ghi}$;

ν — coeficientul de viscozitate cinematică;
d — diametrul aluviunilor;
γ_s — greutatea specifică a aluviunilor;
γ — greutatea specifică a apei.

Pentru $Re_*>500$, după S h i e l d s, $k=0,06$, după W h i t e $k=0,030-0,047$, iar după R a m e t t e şi H e n z e l, $k=0,016$ pentru $d=75$ mm şi $k=0,035$ pentru $d=25$ mm.

Alţi cercetători, printre care E g h i a z a r o v în 1957, B o n n e f i l l e în 1963, N a g y şi K a r a d i în 1960, C h a b e r t şi C h a u v i n în 1963, au adus perfecţionări şi precizări formulei de tip Shields. În figura 2.1 se prezintă un grafic comparativ al relaţiilor care determină începutul mişcării aluviunilor, bazate pe efortul critic de antrenare, propuse de diferiţi cercetători, luat din publicaţia [48].

Din analiza acestui grafic se vede, cît de diferite sînt rezultatele ce se obţin aplicînd diversele relaţii recomandate. Acest fapt se explică în primul rînd prin existenţa unui număr mai mare de parametri care trebuie luaţi în considerare şi nu numai parametrii $\frac{\tau}{(\gamma_s-\gamma)d}$ şi $\frac{v_* d}{\nu}$. În al doilea rînd, acest fapt se explică şi prin erorile mari ale datelor experimentale pe baza cărora au fost deduse diversele formule.

Formule bazate pe viteza critică de antrenare. Formule de acest tip au fost propuse în special de specialiştii sovietici. Ele sînt deduse punînd condiţia de echilibru la limită a unei particule solide într-un curent pe un pat aluvionar şi introducînd factori de proporţionalitate care se determină experimental.

Prima formulă de acest gen a fost dedusă de Velikanov şi Bocikov [49] în anul 1929, pentru diferite sorturi de nisip omogen cu diametrul de la 0,1 mm la 5 mm:

$$\frac{v^2}{g}=15\,d+6 \tag{2.2}$$

unde:

v este viteza curentului, în mm/s;
d — diametrul aluviunilor, în mm;
g — acceleraţia gravitaţională, în mm/s².

Cu relaţia (2.2) s-a pus în evidenţă faptul că pentru $v<15-20$ cm/s, într-un curent uniform nu se produce antrenarea aluviunilor.

Ulterior s-au propus şi alte formule. Dintre acestea menţionăm:

Formula lui Şamov (1949, 1954) [14]:

$$v_{cr}=1,3\left(\frac{0,01}{d^{1/6}}+4,7\,d^{1/3}\right)h^{1/6}\,\varphi\ (\text{m/s}) \tag{2.3}$$

unde:

d este diametrul aluviunilor, în m;
h — adîncimea curentului, în m;
φ — un coeficient care ţine seama de neomogenitatea aluviunilor

$$\varphi=\frac{Fa}{Fa+Fb}$$

Fa este suprafaţa figurii deasupra curbei granulometrice;
Fb — suprafaţa figurii de dedesubtul curbei granulometrice.

Formula lui Goncearov [12]

$$v_{cr}=1,41\,\log\frac{8,8\,h}{d_{95}}\sqrt{\frac{2\,g\,(\gamma_s-\gamma)\,d}{3,5\,\gamma}} \tag{2.4}$$

unde:

d este diametrul mediu al aluviunilor;
d_{95} — diametrul sitei care lasă să treacă 95% din proba de aluviuni din patul albiei

Formula respectă criteriul dimensionalităţii.

Relaţiile Levi-Knoroz, [33] care sînt şi cele mai răspîndite.

Dintre acestea se prezintă pe cea mai practică (nu și cea mai recentă):

$$v_{cr}=a\sqrt{g\frac{\gamma_s-\gamma}{\gamma}d}\left(\frac{R}{d}\right)^m \quad (2.5)$$

unde:

$m=\frac{1}{4}-\frac{1}{6}$ frecvent $m=\frac{1}{6}$;

$a=1{,}3-1{,}4$ pentru $d=0{,}20-0{,}25$ mm

$a=1{,}2$ pentru $0{,}25 \text{ mm}<d<0{,}7$ mm

$a=1{,}0$ pentru $d>0{,}7$ mm.

Formula respectă criteriul dimensionalității. Diametrul aluviunilor se consideră d_{90} sau d_{95}.

Pentru $d<0{,}20-0{,}25$ mm L e v i-K n o r o z [32] recomandă formula:

$$v_{cr}=\frac{100\, R^{1/8}\, d^{0,05}}{\sqrt{7{,}5+\sqrt[4]{R}}} \quad (2.6)$$

cu d în mm și R — raza hidraulică, în m.

Este interesant de remarcat faptul că din punct de vedere al structurii, formulele bazate pe viteza critică de antrenare a aluviunilor sînt echivalente cu formulele bazate pe efortul unitar critic. Într-adevăr, dacă avem în vedere că între viteza medie v a curentului și efortul unitar există relația:

$$v=\left(\frac{2\,\tau}{\frac{\gamma}{g}\,\lambda}\right)^{1/2} \quad (2.7)$$

unde:

$\lambda=f_1\left(\frac{h}{d}, Re\right)$ este coeficientul de rezistență,

formula (2.1) devine:

$$v_{cr}=\sqrt{\frac{2\,k}{f_1}}\sqrt{g\frac{\gamma_s-\gamma}{\gamma}d}=F\left(\frac{h}{d}, Re\right)\sqrt{g\frac{\gamma_s-\gamma}{\gamma}d} \quad (2.8)$$

identică ca structură cu formulele (2.4) și (2.5).

Formulele de calcul prezentate mai sus privind viteza critică de antrenare a aluviunilor iau în considerare numai doi factori de bază de care ar depinde această viteză: diametrul aluviunilor şi adîncimea curentului.

În realitate, viteza critică de antrenare depinde şi de alţi factori, cum ar fi pulsaţia vitezei curentului, forma particulei aluviunilor, apariţia forţelor de coeziune între particule datorită cimentării lor cu substanţe coloidale etc. Luînd în considerare parte din aceşti factori, M i r t z h u l a v a, [30] a propus formule de calcul pentru viteza critică de antrenare a particulelor solide de pe patul albiei, atît în cazul terenurilor necoezive, cît şi în cazul terenurilor coezive.

Albii în terenuri necoezive:

$$v_{cr}=\lg\left(\frac{8,8\ H}{d}\right)\sqrt{\frac{2\ gm}{0,44\ \gamma n}\left[(\gamma_s-\gamma)\,d+2\,Ck\right]} \qquad (2.9)$$

unde:

v_{cr} este viteza critică de antrenare, în m/s;
H — adîncimea curentului, în m;
d — diametrul aluviunilor, în mm;
m — coeficient care ia în considerare condiţiile de curgere a apei în albie ($m=1,3-1,5$ pentru curenţi care transportă substanţe coloidale, $m=1,0$ pentru apă curată, $m=1,10-1,20$ pentru curenţi în albii rectilinii însă cu vegetaţie, $m=0,60-0,80$ pentru albii meandrate);
n — coeficient care depinde de raportul dintre pulsaţia vitezei în zona patului albiei şi viteza mediată a curentului în punctul respectiv: $n=\left(\frac{\bar{v}+v'_{max}}{\bar{v}}\right)^2$, în lipsă de date din măsurători se ia $n=$ $=\frac{d}{0,00005+0,3\ d}$,
γ — greutate specifică a apei, în t/m³;
γ_s — greutatea specifică a aluviunilor, în t/m³;
C — coeficient, care ţine seama de forţele de coeziune între aluviunile din patul albiei ($C=0,035\ c$);
c — coeziunea (în kg/cm²);
k — coeficient care ţine seama de împrăştierea datelor din măsurători privind coeziunea c; $c=1-\frac{\alpha\sigma}{c}$;
σ — abaterea medie a valurilor c;
α = 2,0—2,5 (în funcţie de mărimea albiei).

Albii în terenuri coezive:

$$v_{cr}=\lg\left(\frac{8,8\ H}{d}\right)\sqrt{\frac{2\ gm}{2,6\ \gamma n}(\gamma_s-\gamma)\ d+1,25\ Ck} \qquad (2.10)$$

unde notaţiile sînt aceleaşi ca şi în formula (2.9).

Tabelul 2.1

Materiale necoezive

d (mm)	v_{cr} (m/s) pentru $H=1,0$ m
0,15	0,38
0,25	0,39
0,37	0,41
0,50	0,44
0,75	0,51
1,00	0,55
2,00	0,70
2,50	0,75
3,00	0,80
5,00	0,96
10,00	1,23
15,00	1,42
20,00	1,55
25,00	1,65
30,00	1,76

Tabelul 2-2

Materiale coezive

c (kg/cm²)	v_{cr} (m/s) pentru $H=1,0$ m
0,005	0,43
0,010	0,48
0,020	0,57
0,030	0,64
0,040	0,71
0,050	0,77
0,075	0,91
0,100	1,04
0,125	1,13
0,150	1,23
0,175	1,33
0,200	1,40
0,225	1,48
0,250	1,55
0,300	1,69
0,350	1,83
0,400	1,96
0,450	2,06
0,500	2,17
0,600	2,38

În tabelele 2.1 și 2.2 se prezintă valorile vitezei critice de antrenare a materialului aluvionar necoeziv și coeziv, calculate după formulele (2.9) și 2.10).

Cunoscînd valoarea vitezei v_{cr} la $H=1.0$ m v_{cr_1} pentru $H \neq 1$ viteza critică v_{cr} se obține cu relația:

$$v_{crH} = v_{cr_1} + \lg H \tag{2.11}$$

Folosirea acestor formule este limitată de condițiile de laborator în care au fost deduse. În majoritatea cazurilor rezultatele experimentale care au stat la baza deducerii formulelor se referă la o suprafață plană a patului aluvionar pe care curge curentul. În cazul în care patul aluvionar are rifluri sau dune, viteza critică de antrenare a aluviunilor este diferită de cea rezultată din relațiile de mai sus.

2.1.1. Debitul solid tîrît

Pentru exprimarea debitului aluviunilor tîrîte — pe scurt debitul solid tîrît — există astăzi foarte multe relații de calcul propuse de diverși autori. Aceste formule sînt obținute aproape în exclu-

sivitate folosind date experimentale în condiţii de laborator şi se bazează fie pe teoria antrenării aluviunilor de către curent (forţa critică, viteza critică sau debitul critic de antrenare), fie pe teoria statistică a mişcării aluviunilor. În cele ce urmează vom prezenta cîteva din aceste formule care şi-au găsit o aplicabilitate mai largă.

Formule bazate pe teoria antrenării. Prima formulă a fost propusă de D u B o y s în anul 1879 şi are expresia:

$$p=\psi\,(\tau-\tau_{cr}) \tag{2.12}$$

unde:

p este debitul specific de aluviuni (pe unitatea de lăţime a albiei);
τ — efortul unitar de antrenare;
τ_{cr} — efortul critic unitar de antrenare;
ψ — un coeficient ale cărui valori depind de diametrul aluviunilor.

Pentru coeficientul ψ au fost propuse diferite valori din partea diverşilor adepţi ai formulelor de calcul al debitului, bazate pe forţa de antrenare (C h a n g, S c h o k l i t s c h ş.a.). S t r a u b propune următoarele valori de calcul al debitului solid (p), exprimat în m³/s, pentru τ_{cr}, exprimat în kg/m², ψ — în m /kg² · s şi d în mm (tabelul 2.3).

Tabelul 2.3

Valorile parametrilor ψ şi τ_{cr} (după S t r a u b)

d (mm)	ψ(m⁶/kg².s)	τ_{cr}(kg/m²)
0,125	0,0032	0,078
0,250	0,0019	0,083
0,500	0,0011	0,108
1,000	0,00067	0,156
2,000	0,00039	0,250
4,000	0,00023	0,440

O formulă care prezintă interes deosebit este cea propusă de E g h i a z a r o v [14] pe baza rezultatelor experimentale proprii şi ale altor cercetători:

$$\frac{p}{q\cdot i^{1/2}}=k\,\frac{\tau-\tau_{cr}}{\tau_{cr}} \tag{2.13}$$

unde:

constanta k are valori variabile, în funcţie de diametrul aluviunilor, de la $k=0,01$ la $k=0,03$. ($k_{mediu}=0,015$) (p şi q se exprimă în aceleaşi unităţi de măsură).

Formula (2.10) a fost obţinută pentru diametre 0,375 mm $\leqslant d \leqslant$ 62,5 mm.

Mai puţin folosite sînt formulele care exprimă debitul de aluviuni tîrîte direct, cu ajutorul debitului lichid şi al pantei hidraulice. Dintre acestea menţionăm, fără să le mai reproducem, formulele lui S c h o k l i t s c h, M c D o u g a l l ş.a.

De o răspîndire foarte largă, în special în Europa occidentală, se bucură azi formula obţinută de M e y e r-P e t e r şi M ü l l e r [39] în anul 1948:

$$\left(\frac{k_s}{k_r}\right)^{3/2} \gamma hi = 0{,}047\ (\gamma s - \gamma)\ d + 0{,}25 \left(\frac{\gamma}{g}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} p\right)^{2/3} \quad (2.14)$$

unde: $k_s = \frac{v}{R^{2/3} i^{1/2}}$; $k_r = \frac{26}{d_{90}^{1/6}}$; d_{90} — diametrul particulelor exprimat în m;

R este raza hidraulică, în m;
v — viteza curentului, în m/s;
γ_s — greutatea specifică a aluviunilor;
γ — greutatea specifică a apei;
i — panta suprafeţei libere a apei;
g — acceleraţia gravitaţională;
p — debitul solid specific al aluviunilor tîrîte (în kg/s ·m)

Această formulă este de fapt o perfecţionare a formulei obţinute de autori în anul 1934 şi se bazează pe un volum foarte mare de date experimentale cu diverse sorturi de material aluvionar de diametre şi greutăţi specifice diferite.

Cum $p=0$, cînd:

$$\tau = \gamma hi = 0{,}047 \left(\frac{k_r}{k_s}\right)^{3/2} (\gamma_s - \gamma)\ d = \tau_{cr} \quad (2.15)$$

rezultă că formula (2.14) mai poate fi scrisă şi astfel:

$$p = \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}\right)^{1/2} \cdot (gd)^{1/2}\ \gamma d \left[\left(\frac{k_s}{k_r}\right)^{2/3} \cdot \frac{\gamma hi}{(\gamma_s - \gamma)\ d} - 0{,}047\right]^{3/2} \quad (2.16)$$

Reţinem această ultimă formulă, ca fiind importantă pentru studiul proceselor de albie.

În U.R.S.S. şi în alte ţări din răsăritul Europei sînt folosite în special formulele bazate pe viteza critică de antrenare a mate-

rialului aluvionar. Prezentăm trei dintre cele mai folosite formule, foarte asemănătoare ca structură:

— formula lui Ş a m o v [14]:

$$p = 0{,}95\sqrt{d}\left(\frac{v}{v_{cr}}\right)^3 (v - v_{cr})\left(\frac{d}{h}\right)^{1/4} \tag{2.17}$$

valabilă pentru

$$d > 0{,}1 - 0{,}2 \text{ mm}$$

— formula lui L e v i [33]:

$$p = 2{,}00\left(\frac{v}{\sqrt{gd}}\right)^3 d\,(v - v_{cr})\left(\frac{d}{h}\right)^{1/4} \tag{2.18}$$

valabilă pentru

$$\frac{d}{h} > \frac{1}{500}$$

şi formula lui G o n c e a r o v [12]

$$p = 2.08\left(\frac{v}{v_c}\right)^3 (v - v_{cr})\left(\frac{d}{h}\right)^{0,1} \cdot d \tag{2.19}$$

valabilă pentru aluviuni omogene.

În toate aceste formule d şi h se exprimă în m, v şi v_{cr} în m/s, iar p rezultă în kg/s · m (debit solid specific). Viteza critică de antrenare se determină după formulele recomandate de fiecare autor.

Avînd în vedere relaţia (2.7) formulele (2.17)—(2.19) pot fi scrise sub forma:

$$p = A\left(\sqrt{\tau} - \sqrt{\tau_{cr}}\sqrt{\frac{\lambda}{\lambda_{cr}}}\right)\left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^{3/2} \tag{2.20}$$

unde A este o funcţie de raportul $\frac{d}{h}$ diametrul d şi de coeficienţii λ şi λ_{cr}

Formulele bazate pe teoria statistică a mişcării aluviunilor. Primul care a introdus o nouă concepţie în construirea unei formule de calcul al debitului solid al aluviunilor tîrîte, bazată pe interpretarea statistică a fenomenului de antrenare şi transport aluvionar a fost E i n s t e i n [3], în anul 1937. Însă o relaţie practică de calcul a fost obţinută de Einstein mult mai tîrziu, în anul 1950 printr-o schematizare mai accentuată a fenomenului fizic.

Deşi demonstraţia şi şirul de operaţii logice prin care ajunge la formula de calcul sînt foarte interesante, prezentăm numai rezultatul final:

$$\psi=\psi(\varphi) \tag{2.21}$$

unde:

$$\psi=\frac{\gamma_s-\gamma}{\gamma}\cdot\frac{d}{Ri}\ ;\ \varphi=\frac{p}{\gamma_s}\left(\frac{\gamma}{\gamma_s-\gamma}\cdot\frac{1}{gd^3}\right)^{1/2} \tag{2.22}$$

iar relaţia între ψ şi φ este dată în figura 2.2

O altă formulă dedusă pe baze statistice pentru determinarea debitului aluvionar tîrît este cea propusă de *Kalinske* în anul 1947, care, însă, are o aplicabilitate redusă.

Formule bazate pe compararea datelor din măsurători cu relaţiile Meyer — Peter şi Einstein. În această categorie menţionăm formula lui F r i j l i n k [48] propusă în anul 1952, ţinînd seama de datele din măsurători făcute pe rîurile olandeze:

$$\frac{p}{\gamma_s d(\mu g Ri)^{1/2}}=5\,e^{-0{,}27\,\frac{(\gamma_s-\gamma)d}{\gamma\mu Ri}} \tag{2.23}$$

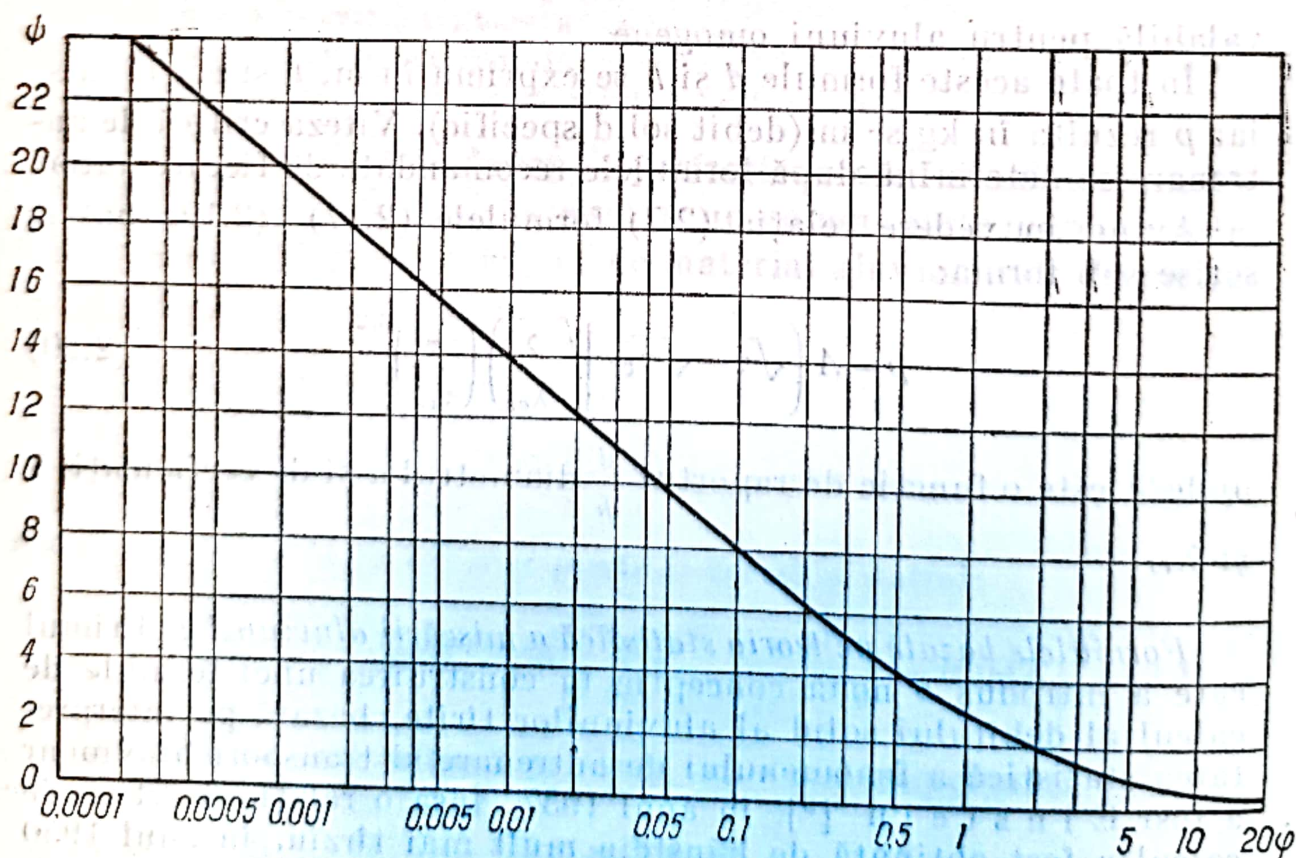


Fig. 2.2 — Graficul relaţiei lui E i n s t e i n H. A. $\psi=\psi(\varphi)$

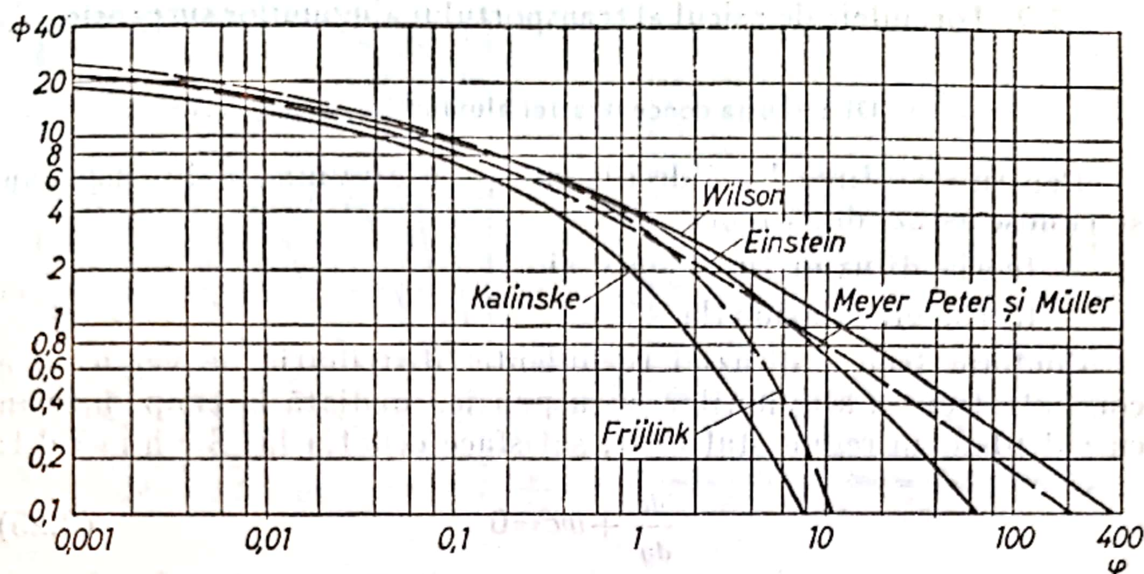


Fig. 2.3 — Comparaţie între diferitele formule de calcul al debitului solid

şi formula lui Y a l i n [51] dedusă în anul 1963:

$$\frac{p}{(\gamma_s-\gamma)d}=0{,}635\ r\left[1-\frac{2{,}3\ log(1+ar)}{ar}\right] \qquad (2.24)$$

În aceste formule:

$$\mu=\left(\frac{c}{5{,}75\sqrt{g}\,1\ log\dfrac{12R}{k_s}}\right)^{3/2}$$

unde:

μ este un parametru care ţine seama de rugozitatea provocată de dune;
k_s — rugozitatea echivalentă de tip Nikuradze,

$$r=\frac{\tau-\tau_{cr}}{\tau}$$

$$a=2{,}45\left(\frac{\gamma}{\gamma_s}\right)^{0,4}\left(\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s-\gamma)d}\right)^{1/2}$$

În graficul din figura 2.3, luat din lucrarea [48] se prezintă comparativ în coordonatele Einstein diferite formule pentru calculul debitului solid tîrît propuse de diverşi cercetători. Se observă că formulele lui E i n s t e i n şi M e y e r-P e t e r concordă foarte bine pentru $\varphi<15-20$.

Din cele expuse reiese că rezultatul calculului debitului solid tîrît depinde de formula adoptată. Criteriul de alegere a formulei de calcul în vederea determinării debitului solid tîrît pe rîurile din natură poate fi dat numai de măsurători.

2.2. Formulele de calcul al transportului aluviunilor suspensie

2.2.1. Distribuția concentrației aluviunilor în suspensie

Pentru stabilirea legii de distribuție a aluviunilor în suspensie se cunosc astăzi două teorii:

— teoria difuziei turbulente și

— teoria gravitațională.

Conform teoriei difuziei turbulente, distribuția pe verticală a concentrației c a aluviunilor în suspensie, mediată în timp, într-un curent plan, în regim staționar, satisface ecuația lui S c h m i d t:

$$\frac{dc}{dy}+wc=0 \tag{2.25}$$

unde:

ε este coeficientul de amestec;

$$\varepsilon=k^{*}\cdot\frac{y}{h}(h-y) \tag{2.26}$$

w — mărimea hidraulică care se determină cu ajutorul graficului din figura 2.4;

k — constanta lui K a r m a n, care în condițiile unui material în suspensie are valori cuprinse între 0,2—0,4 [28];

$$v^{*}=\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}=\sqrt{ghi} \quad \text{viteza dinamică}$$

Rezultă, după R o u s e [48]:

$$c=c_0\left(\frac{1-\eta}{\eta}\cdot\frac{\eta_0}{1-\eta_0}\right)^{\beta} \tag{2.27}$$

sau, după V e l i k a n o v [49]:

$$c=c_0\left(\frac{1-\eta}{1+\dfrac{\eta}{\alpha}}\right)^{\beta'} \tag{2.28}$$

unde:

$\eta=\dfrac{y}{h}$ este adîncimea relativă,

$\alpha=\dfrac{\delta}{h}$ — rugozitatea relativă,

$$\beta=\frac{w}{k^{*}} \tag{2.29}$$

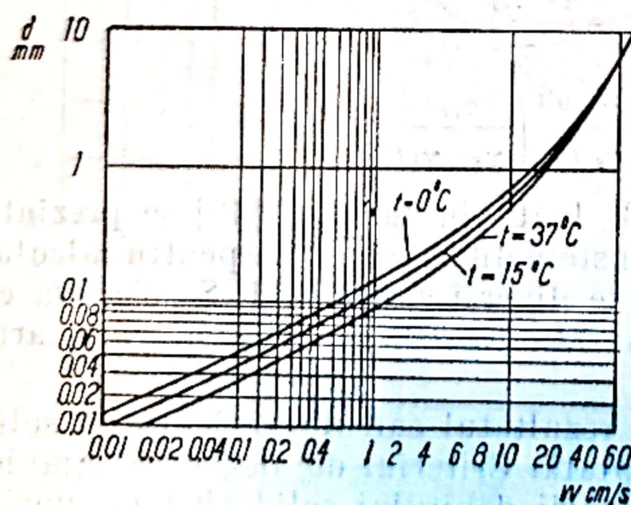


Fig. 2.4 — **Mărimea hidraulică**

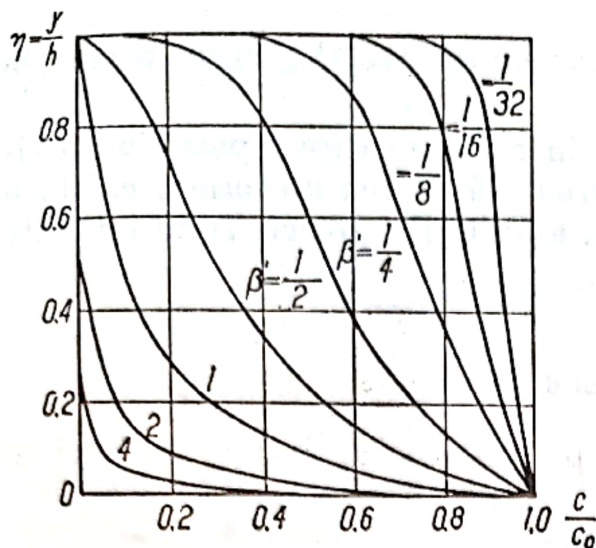


Fig. 2.5 — Variaţia concentraţiei aluviunilor pe verticală după teoria difuziei turbulente

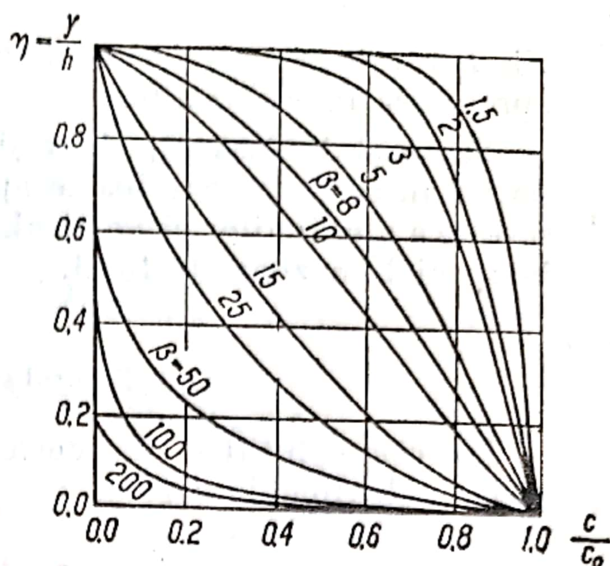


Fig. 2.6 — Variaţia concentraţiei aluviunilor pe verticală după teoria gravitaţională

După teoria gravitaţională[1] elaborată de V e l i k a n o v se obţine:

$$c=c_0\,[\varphi(\eta)]^{\beta'} \qquad (2.30)$$

unde:

$$\varphi(\eta)=exp\int_0^{\eta}\frac{d\eta}{(1-\eta)\,\ln\left(1+\dfrac{\eta}{\alpha}\right)} \qquad \beta'=\frac{\left(\dfrac{\gamma_s}{\gamma}-1\right)kw}{i\sqrt{ghi}} \qquad (2.31)$$

i este panta suprafeţei libere.

În graficele din figurile 2.5 şi 2.6 se prezintă variaţia concentraţiei aluviunilor pe verticală după teoria difuziei turbulente şi după teoria gravitaţională.

Trebuie menţionat că rezultatele obţinute după cele două teorii sînt verificate doar în condiţii de laborator, teoria gravitaţională fiind în concordanţă cu datele din măsurători chiar şi pentru aluviuni cu diametre mari. Măsurătorile efectuate pe rîurile din natură conduc la o concordanţă calitativă cu rezultatele teoretice. Pe rîu-

---

[1] Teoria gravitaţională a fost supusă unei critici foarte severe de către cercetătorii din U.R.S.S. Punctul nevralgic al acestei teorii constă în ipoteza că energia necesară menţinerii în suspensie a aluviunilor într-un curent turbulent este preluată direct din energia mişcării medii şi nu din energia mişcării pulsatorii.

rile naturale este greu să se determine în special concentrația c_0 în apropierea fundului albiei.

Se constată însă că, chiar și în cazul în care repartiția aluviunilor în secțiune este foarte apropiată de cea uniformă, există o sortare a aluviunilor pe verticală, aluviunile grosiere fiind întîlnite în special în zona de fund.

2.2.2. Debitul solid în suspensie

Teoretic debitul în suspensie pe unitatea de lățime a albiei se obține calculînd integrala:

$$r=\int_0^h cudy \tag{2.32}$$

unde:

u este viteza locală a curentului.

Astfel de integrale au fost calculate de E i n s t e i n [50] pentru teoria difuziei turbulente și de V e l i k a n o v [49] pentru teoria gravitațională. Rezultatele calculelor, fiind foarte complicate, nu le reproducem aici. De altfel pentru rîuri aceste rezultate prezintă puțină importanță, datorită discordanței între teorie și măsurători.

Unii cercetători au căutat să obțină experimental relația între debitul solid în suspensie și elementele geometrice și hidraulice ale curentului. În acest sens redăm formula lui K n o r o z [29] pentru debitul solid în suspensie:

$$R=0{,}006\left(\frac{v}{w}\right)^4\left(\frac{d}{h}\right)^{1,6}Q \tag{2.33}$$

unde:

R este debitul solid în suspensie, în kg/s;
Q — debitul lichid, în m³/s;
d — diametrul aluviunilor;
w — mărimea hidraulică;
v — viteza curentului.

2.2.3. Viteza critică de sedimentare în curent

În practica lucrărilor de regularizare a albiilor rîurilor prezintă importanță valoarea vitezei critice a curentului la care se produce sedimentarea aluviunilor în suspensie. Menționăm două din formulele propuse pentru calculul vitezei critice de sedimentare în curent:

Formula lui Zamarin [38]:

$$v_s = w_m \sqrt[1,5]{\frac{\mu}{0{,}022\sqrt{Ri}}} \quad \text{pentru } w_m \geq 0{,}002 \text{ m/s}$$

$$v_s = \sqrt[1,5]{\frac{\mu\sqrt{w_m}}{\sqrt{Ri}}} \quad \text{pentru } w_m < 0{,}002 \text{ m/s} \tag{2.34}$$

unde:

v_s este viteza de sedimentare în curent, în m/s;
μ — turbiditatea medie a curentului, în kg/m³;
R — raza hidraulică, în m;
i — panta suprafeței libere;
w_m — mărimea hidraulică medie în m/s a aluviunilor în suspensie calculată cu relația:

$$w_m = \frac{\sum w_i m_i}{100} \tag{2.35}$$

m_i — fiind procentul de aluviuni cu mărimea hidraulică w_i.

Formula lui Velikanov:

$$v_s = \sqrt[3]{\frac{0{,}21\, w_m}{\sqrt{g n^3}}}\, h^{0,5} \tag{2.36}$$

în care în plus, n este coeficientul de rugozitate din formula lui Manning.

2.3. Debitul solid total

Debitul solid total se obține prin însumarea debitului solid tîrît cu debitul solid în suspensie.

Din măsurătorile efectuate rezultă că pe rîurile de cîmpie debitul solid în suspensie este, în general, mai mare decît debitul solid tîrît. Pe rîurile de cîmpie, debitul solid tîrît poate să reprezinte în unele cazuri cîteva procente (1—5%) din debitul solid total. De aceea, de multe ori, pe rîurile de cîmpie se aproximează debitul solid total cu debitul solid în suspensie.

Pe rîurile din țara noastră, situate în zone unitare din punct de vedere al condițiilor fizico-geografice, între debitul solid în suspensie, mediu multianual, R, și debitul lichid, mediu multianual Q, se poate stabili relația:

$$\overline{R} = A\overline{Q}^b \tag{2.37}$$

unde:

b are valoarea apropiată de 1,25 iar parametrul A variază în limite destul de largi:

$\frac{1}{50} < A < 50$ și se supune unei zonări verticale [9].

În general, corelaţia între debitul solid în suspensie, R, şi debitul lichid Q, pe fiecare rîu într-o secţiune dată variază de la viitură la viitură. Adoptarea unei curbe de corelaţie unice poate fi justificată numai în calcule foarte aproximative (fig. 2.7).

Sînt importante studiile efectuate de L o p a t i n [34] care au conchis că între coeficientul de variaţie C_{vs} al debitului mediu solid şi coeficientul de variaţie C_{ve} al debitului mediu lichid există relaţia:

$$C_{vs} = C_{ve} \cdot a \tag{2.38}$$

unde, pentru rîuri de cîmpie a este mai mic decît pentru rîuri de munte. (Pentru U.R.S.S., $a=1,64$ — la rîurile de cîmpie, $a=2,22$ la rîurile de deal şi $a=3,33$ la rîurile de munte).

Pe rîurile de munte predomină aluviunile transportate prin tîrîre şi rostogolire, debitul solid tîrît reprezentînd o parte importantă din debitul solid total. De aceea, determinarea debitului solid la rîurile de munte este mult mai dificilă şi rezultate concludente se obţin numai prin metoda volumetrică, în cazul construirii unor baraje care opresc transportul în aval al aluviunilor.

2.4. Configuraţia fundului mobil al albiei

Dacă se măreşte viteza curentului peste valoarea critică, v_{cr} de antrenare a aluviunilor, experienţele arată că pe patul mobil al albiei apar mai întîi rifluri, apoi dune, apoi iar pat neted, pentru ca la viteza corespunzătoare regimului rapid de curgere a apei să apară antidune. S-au propus mai multe criterii care să definească regimul de curgere corespunzător acestor microformaţiuni morfologice. Mai concludent ni se pare graficul construit de G a r d e şi A l b e r t s o n [11] în coordonatele (fig. 2.8);

$$\frac{\tau}{(\gamma_s-\gamma)\,d} \quad \text{şi} \quad \sqrt{Fr}=\frac{v}{\sqrt{gh}}$$

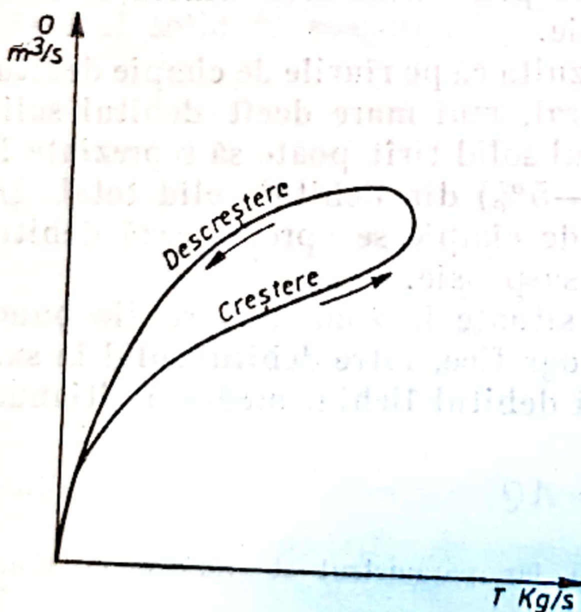


Fig. 2.7 — **Corelaţia între debitul lichid şi debitul solid la o viitură**

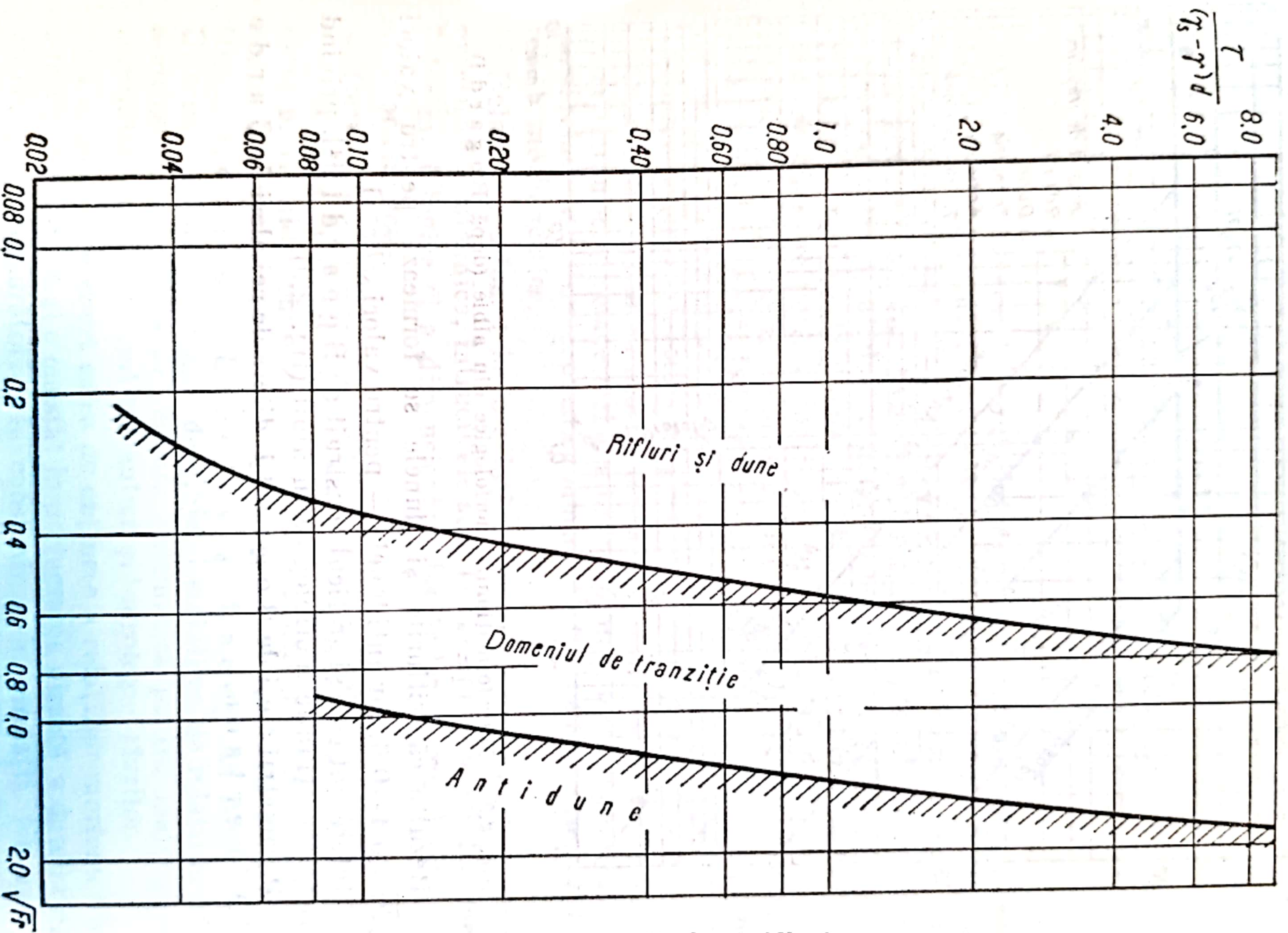


Fig. 2.8 — Graficul Garde și Albertson

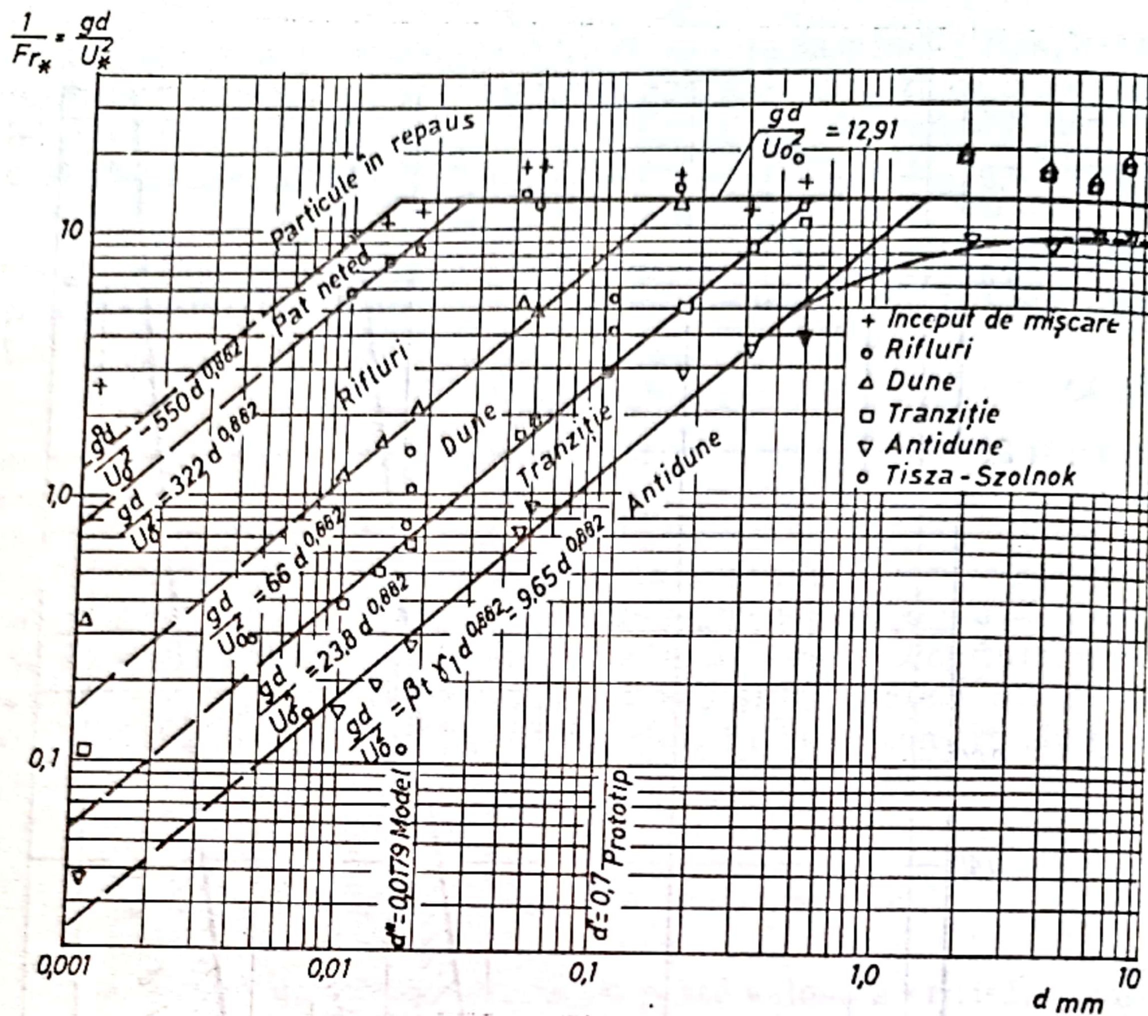


Fig. 2.9 — Microformațiunile morfologice din albie (după Bogardi)

Rezultă că riflurile și dunele se formează pentru valori $\sqrt{Fr} < 0,4-0,6$, iar antidunele — pentru valori $\sqrt{Fr} > 1$.

Interesant este și graficul construit de B o g a r d i [4], privind microformațiunile morfologice în albii (fig. 2.9).

Parametrii aleși de B o g a r d i diferă de cei aleși de G a r d e și A l b e r t s o n.

3. Elemente privind dinamica albiilor rîurilor (Teoria regimului)

Albiile rîurilor sînt într-o evoluţie continuă sub acţiunea curentului de apă. Curentul de apă, caracterizat printr-un anumit regim de curgere, îşi croieşte singur albia, ca traseu, formă şi dimensiuni. La rîndul ei, albia rîului, prin geometria sa, acţionează asupra cinematicii curentului, dîndu-i o anumită structură, corespunzătoare formei pe care o are la momentul respectiv. Acest proces, numit *proces de albie*, se petrece continuu, cu intensitate mai mare sau mai mică, în funcţie de intensitatea factorilor climatici care determină regimul scurgerii lichide (în principal precipitaţiile şi temperatura) şi de caracteristicile geofizice ale terenului pe care are loc scurgerea (relieful, structura geotehnică, vegetaţia ş.a.).

Observaţiile şi măsurătorile efectuate au arătat că între parametri hidraulici şi geometrici ai albiilor formate într-un pat aluvionar şi relativ stabilizate, există anumite legături de corelaţie numite relaţii morfometrice.

Relaţiile morfometrice prezintă o deosebită importanţă pentru practica hidrotehnică, întrucît ele stau la baza prognozării fenomenelor morfologice şi a dimensionării lucrărilor de regularizare a albiilor rîurilor.

Deşi simple, relaţiile morfometrice au fost puse în evidenţă şi folosite abia la sfîrşitul secolului 19 şi începutul secolului 20 de către marii hidrotehnicieni ai vremii, printre care primul loc îl ocupă Fargue în Franţa, Lohtin şi Leliavski în Rusia, Kennedy, Lindley şi Lacey în Anglia ş.a. Ulterior, studiul proceselor de albie şi stabilirea de relaţii morfometrice au devenit o preocupare sistematică pentru majoritatea cercetătorilor în domeniul hidraulicii şi hidrologiei rîurilor.

Dar pînă în prezent calea de obţinere a relaţiilor morfometrice a fost pur empirică şi a constat în prelucrarea directă a datelor din observaţii şi măsurători prin construirea de corelaţii. Nu există o teorie care să explice fenomenul formării albiilor rîurilor într-un pat aluvionar, deşi în unele publicaţii de specialitate empirismul

cu care sînt obținute relațiile morfometrice poartă numele de „teoria regimului".

În cele ce urmează, relațiile morfometrice, caracteristice albiilor rîurilor, vor fi deduse prin aplicarea principiului disipării minime a energiei curentului, sau al principiului debitului maxim.

Primul care a sugerat ideea aplicării principiului disipării minime a energiei curentului la studiul proceselor de albie a fost V e l i k a n o v [49], dar ideea a rămas nefructificată atît timp cît nu s-au găsit expresiile analitice ale acestui principiu.

3.1. Profilul longitudinal al albiilor rîurilor

În lungul rîului, acțiunea curentului de erodare a patului albiei se manifestă diferit, datorită vitezei medii diferite pe care o are. Pe cursul superior, unde panta curgerii este mare și în consecință și viteza curentului este mare, există tendința de adîncire a albiei, în schimb pe cursul inferior, unde panta este mică, există tendința de depunere a aluviunilor transportate — și deci de ridicare a patului albiei. Numai pe cursul mijlociu se constată o oarecare tendință a rîului de a-și menține la aceeași cotă patul albiei (fig. 3.1).

3.1.1. Criteriul de stabilitate locală

Stabilitatea locală a profilului longitudinal al albiei rîului se obține în acele secțiuni în care efortul de antrenare a aluviunilor

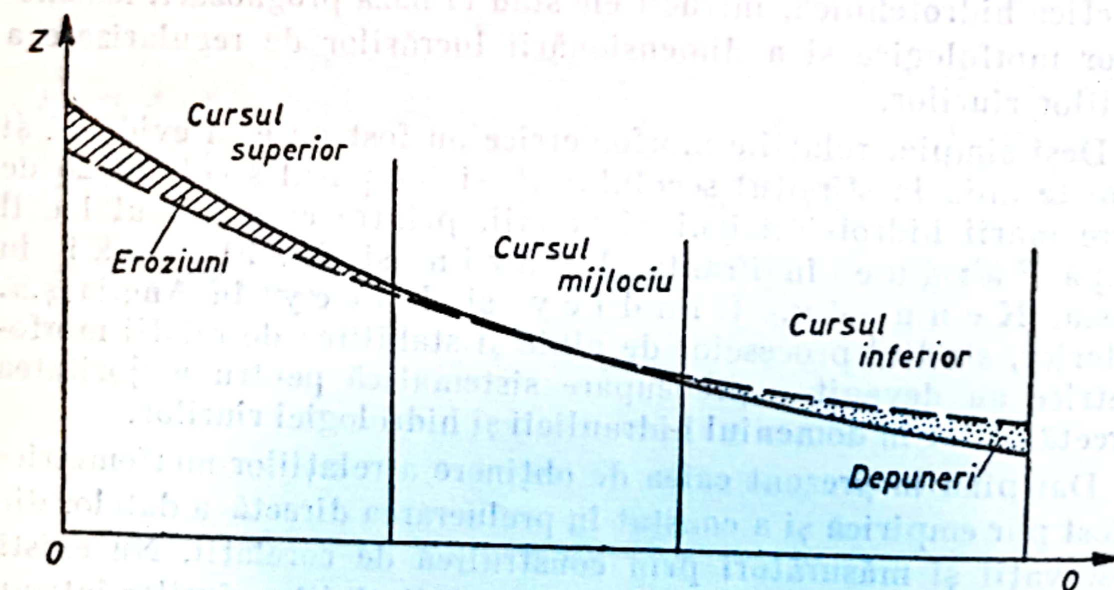


Fig. 3.1 — **Profilul longitudinal al albiei rîurilor:**
—— la momentul t_1; — — — la momentul t_2 ($t_2 > t_1$)

de către curent se găsește într-un anumit raport față de efortul critic de antrenare a aluviunilor. Pentru a găsi acest raport, se apelează la ecuația debitului solid tîrît, întrucît fenomenele de coborîre sau de ridicare a patului albiei sînt influențate în special de transportul prin tîrîre al aluviunilor. În acest scop, se acceptă formula lui M e y e r-P e t e r, care, după părerea noastră, exprimă cel mai corect influența diverșilor factori asupra mărimii debitului solid.

Avem ecuația debitului solid tîrît:

$$P=\left(\frac{\gamma_s-\gamma}{\gamma}\right)^{1/2}(gd)^{1/2}\ \gamma dB\left[\left(\frac{k_s}{k_r}\right)^{3/2}\frac{\gamma hi}{(\gamma_s-\gamma)d}-0{,}047\right]^{3/2} \tag{3.1}$$

și ecuația debitului lichid:

$$Q=\frac{Bh^{5/3}\sqrt{i}}{n} \tag{3.2}$$

(Notațiile au fost explicate în capitolul 2).

Debitul lichid ,(Q) în relația (3.2), ca de altfel în toate relațiile morfometrice care urmează, reprezintă *debitul de formare* a albiei. Sînt multe moduri de a defini debitul de formare a albiei. Prin debit de formare a albiei noi vom înțelege în regim hidrologic natural al rîului *debitul care modelează albia minoră* și care constituie, de fapt, media în timp a valorilor debitului cu acțiune de erodare sau de depunere a aluviunilor.

Dacă energia disponibilă curentului este mai mare decît energia necesară transportării debitului solid tîrît (P), venit din amonte, pe sectorul considerat se vor produce eroziuni și prin urmare fundul albiei va coborî. Invers, dacă energia disponibilă a curentului este mai mică decît energia necesară transportării debitului solid tîrît (P), venit din amonte, se vor produce depuneri de aluviuni.

Prin urmare *sectorul considerat se găsește în echilibru dacă debitul solid tîrît* (P) *este maxim, la o capacitate de transport dată a curentului*. Se poate astfel scrie:

$$\frac{\partial P}{\partial h}=0 \tag{3.3}$$

Înlocuind lățimea B din (3.1) cu expresia $B=\frac{Qn}{h^{5/3}\sqrt{i}}$ din (3.2) și calculînd derivata (3.3), se obține:

$$\frac{\tau}{\tau_{cr}}=10 \tag{3.4}$$

unde:

$$\tau=\gamma hi \text{ și } \tau_{cr}=0{,}047\,(\gamma_s-\gamma)\left(\frac{k_r}{k_s}\right)^{3/2}d \tag{3.5}$$

Aşadar, criteriul de stabilitate locală a albiilor rîurilor devine:

$\tau \simeq 10\ \tau_{cr}$ — albii stabile (3.6)

$\tau \neq 10\ \tau_{cr}$ — albii instabile (3.7)

Pentru $\tau > 10\ \tau_{cr}$ este posibilă coborîrea patului albiei, pentru $\tau < 10\ \tau_{cr}$ este posibilă ridicarea patului albiei. Dacă se fac aproximaţiile [1], [12]: $\lambda_{cr} \sim d^{1/4}$ şi $\lambda \sim \Delta^{1/4}$, $\Delta \simeq (20-80)\ d$,

unde:

d este diametrul aluviunilor;
Δ — înălţimea riflurilor sau dunelor;
λ_{cr} — coeficientul de pierdere de sarcină pentru viteza critică de antrenare a aluviunilor;
λ — coeficientul de pierdere de sarcină pentru viteza de echilibru morfologic, relaţiile (3·6) şi 3.7) devin:

— pentru albii stabile:

$$v \simeq 2\ v_{cr} \quad (3.8)$$

— pentru albii instabile:

$$v \neq 2\ v_{cr} \quad (3.9)$$

Viteza critică de antrenare a aluviunilor se determină cu relaţia (2.5).

3.1.2. Criteriul de stabilitate generală

Se presupune că pe traseul de lungime l al unei albii de rîu de la cota z_1 la cota z_2, debitul rîului creşte de la valoarea Q_1 la valoarea Q_2 (fig. 3.2).

Considerînd cele două puncte de capăt fixe, se admite următorul principiu variaţional:

Profilul longitudinal al albiei tinde către acea formă care corespunde energiei minime consumate de curent în unitatea de timp pe traseul de la z_1 la z_2.

Energia consumată de curent are expresia:

$$E = \int_0^l \gamma Q \frac{dz}{dx} dx \quad (3.10)$$

Minimul expresiei E cu condiţia suplimentară:

$$\int_0^l \frac{dz}{dx} dx = \Delta z = \text{constant} \quad (3.11)$$

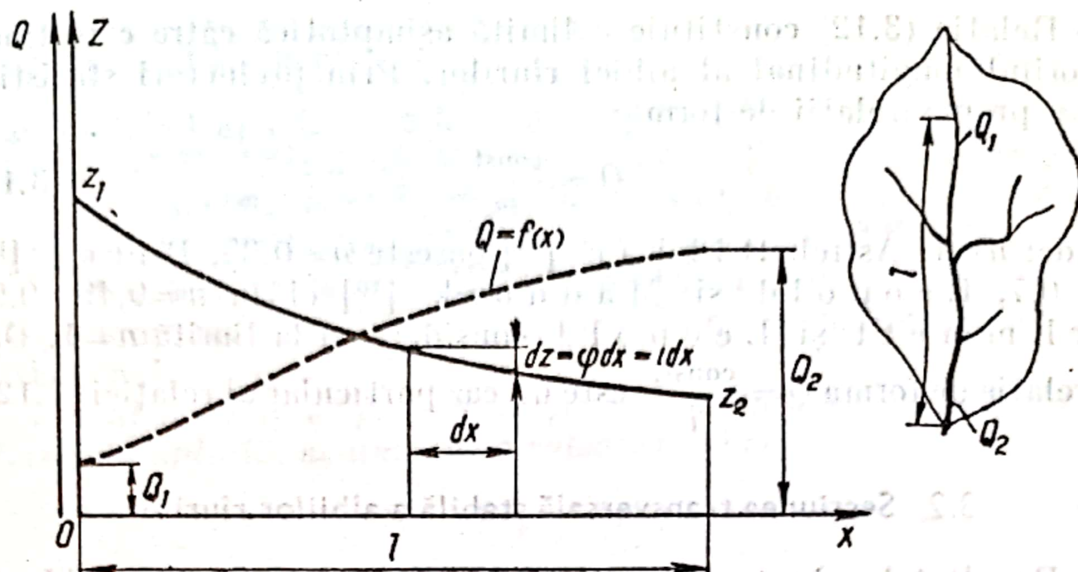


Fig. 3.2 – **Variaţia debitului şi a pantei în lungul rîului**

conduce la relaţia morfometrică:

$$Q = \frac{\text{const.}}{i\left(1+\frac{i^2}{2}\right)} - \frac{\mu}{\gamma} \quad (3.12)$$

unde:

μ se determină din relaţia (3.11).

Într-adevăr, notînd $Q=f(x)$ şi $i=\varphi(f)$, problema se reduce la determinarea minimului funcţionalei:

$$E_0 = \int_0^1 \left[\gamma f \cdot \varphi(f) + \mu \cdot \varphi(f)\right] dx$$

respectiv la găsirea ecuaţiei lui Euler

$$\varphi + (\mu + f)\,\varphi' = 0$$

care este de forma:

$$\varphi = \frac{\text{const.}}{f + \mu/\gamma}$$

Dacă $Q = Q_1 + qx$,
unde:

q este debitul specific pe lungime, cu care creşte din amonte spre aval debitul Q, pentru constanta μ obţinem valoarea:

$$\frac{\mu}{\gamma} = Q_1 - \frac{ql}{e^{\frac{q\Delta z}{\text{const.}}} - 1} \quad (3.13)$$

Relaţia (3.12) constituie o limită asimptotică către care tinde profilul longitudinal al albiei rîurilor. Prin prelucrări statistice s-au propus relaţii de forma:

$$Q=\frac{\text{const.}}{i^{n}} \tag{3.14}$$

unde: $n<1$. Astfel, R î b k i n [40] găseşte $n=0{,}35$, B i r o t [10] $n=0{,}7$, L e o p o l d şi M a d d o r k [10] obţin $n=0{,}49-0{,}95$ iar E m m e t t şi L e o p o l d consideră că la limită $n=1$. Dar o relaţie de forma $Q=\frac{\text{const.}}{i}$ este un caz particular al relaţiei (3.12).

3.2. Secţiunea transversală stabilă a albiilor rîurilor

Rezultatele observaţiilor şi măsurătorilor au pus în evidenţă faptul că pe măsură ce debitul de formare a albiei creşte, raportul între adîncimea medie h şi lăţimea B a albiei scade. Variaţia raportului $\frac{B}{h}$ cu variaţia debitului de formare se datoreşte repartiţiei neuniforme a forţei de frecare, respectiv a forţei de antrenare a aluviunilor pe perimetrul udat. Fie v — viteza medie a curentului, B — lăţimea albiei şi h — adîncimea medie (fig. 3.3). La un debit dat, Q, oricare ar fi forma albiei, ecuaţia de continuitate va fi:

$$v\,B\,h=Q \tag{3.15}$$

Ţinînd seama de relaţia morfometrică:

$$v=2\,v_{cr}=k_0\sqrt{gd}^{\,0,5-m}h^{m} \tag{3.16}$$

ecuaţia (3.15) devine:

$$Bh^{1+m}=\frac{Q}{k_0\sqrt{g}\cdot d^{0,5-m}}=c\,Q \tag{3.17}$$

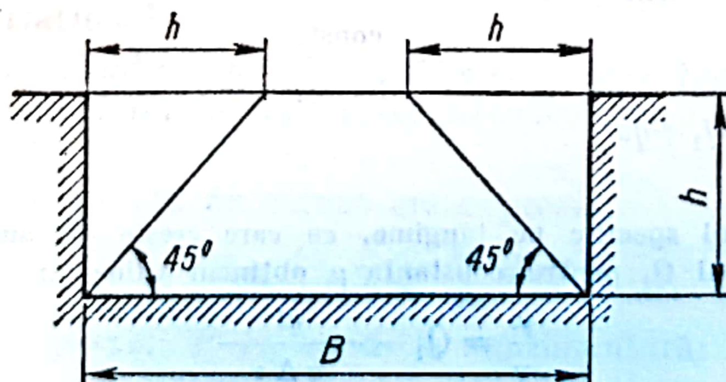


Fig. 3.3 — **Secţiunea transversală printr-o albie schematizată**

Relația (3.17) pentru $m=\frac{1}{4}-\frac{1}{6}$ concordă cu detele rezultate din măsurători. După L a n g b e i n [31] $h\sim Q^{0,37}$, $B\sim Q^{0,53}$ de unde $Bh^{1+m}=cQ^{0,961-0,992}$; după V e l i k a n o v [49] $h\sim Q^{0,27}$, $B\sim Q^{0,53}$, de unde $Bh^{1+m}=cQ^{0,845-0,868}$; după S i m o n s și A l b e r t s o n [47] $h\sim Q^{0,361}$, $B\sim Q^{0,512}$, de unde $Bh^{1+m}=cQ^{0,931-0,963}$.

Pentru rezolvarea completă a problemei mai este necesară o relație morfometrică. În acest scop considerăm următorul principiu variațional:

Lucrul mecanic al forțelor de frecare pe unitatea de lungime de albie și în unitatea de timp are o valoare minimă.

$$L=(2\,\tau_p h+\tau_f B)\,v \qquad (3.18)$$

unde:

$$\tau_p=\gamma\lambda_p\cdot\frac{v^2}{2\,g} \qquad (3.19)$$

$$\tau_f=\gamma\lambda_f\,\frac{v^2}{2\,g} \qquad (3.20)$$

sînt:

expresiile eforturilor de frecare pe perete și pe fundul albiei (considerată cu secțiune dreptunghiulară);
λ_f și λ_p coeficienții de rezistență;
v — viteza medie a curentului.

Pentru λ_p și λ_f s-au adoptat relațiile:

$$\lambda_p=a\left(\frac{d}{h}\right)^{\frac{1}{4}-\frac{1}{6}}=a\left(\frac{d}{h}\right)^{m} \qquad (3.21)$$

$$\lambda_f=\frac{v^2}{gh}\left(1-\frac{v_{cr}}{v}\right)\cdot\varphi\left(\frac{d}{h}\right)+a\left(\frac{d}{h}\right)^{m}\simeq\frac{v^2}{gh}\left(1-\frac{v_{cr}}{v}\right)\cdot\varphi\left(\frac{d}{h}\right) \qquad (3.22)$$

unde:

a este o constantă;
iar $\varphi\left(\frac{d}{h}\right)$ — o funcție de rugozitate relativă, pe care într-o primă aproximație, o considerăm constantă.

Următoarele considerații au stat la baza adoptării unei relații pentru λ_f de tip (3.22):

Numărul $F_r=\frac{v^2}{gh}$ este un criteriu determinant în mișcarea aluviunilor și în formarea microreliefului fundului albiilor (deci și a

rugozității fundului albiei) fapt pus în evidență de G a r d e A l b e r t s o n [11], precum și de Z n a m e n s k a i a [53].

Dacă în ecuația debitului solid tîrît specific, $p=\frac{P}{B}$, a lui M e y e r-P e t e r se ține seama de faptul că $p\sim v^4$, pus în evidență de V e l i n k a n o v [49], L e v i [33], G o n c e a r o v [12] ș.a. și de faptul că pentru $\sqrt{Fr}<0{,}6$ raportul

$$\left(\frac{k_r}{k_s}\right)\sim v, \text{ rezultă } \tau\sim v^4, \text{ respectiv } \lambda\sim v^2.$$

— Relațiile morfometrice între pantă și viteză a curentului stabilite de S i m o n s și A l b e r t s o n [47] cu datele din măsurători pe canalele din India și S.U.A. au forma $v\sim(h^2 i)^{0{,}28-0{,}33}$, deci foarte apropiate de forma $v\sim(h^2 i)^{0{,}25}$. Prin urmare $\lambda\sim\frac{v^2}{gh}$.

— Experiențele efectuate de autor [16] în curenți de aer sub presiune pe modele de albie în formare, au pus în evidență $\lambda\sim v^2$, îndată ce $v>v_{cr}$.

— Exprimînd lățimea B în funcție de adîncimea h din relația (3.17) și ținînd seama de (3.21) și (3.22), în cele din urmă problema se reduce la calculul minimului funcției:

$$L=k_1\left(\frac{d}{h}\right)^m h^{1+3m}+k_2\frac{Q}{d^2\sqrt{gh}}d^{3-m}h^{4m-2} \tag{3.23}$$

unde: k_1 și k_2 sînt niște constante. Notînd $F_r=\frac{Q^2}{d^2\sqrt{gd}}$, condiția $\frac{\partial L}{\partial h}=0$, ne conduce la relațiile:

$$\frac{h}{d}=k_h\left(\frac{1-2m}{1+2m}\cdot Fr\right)^{\frac{1}{3-2m}} \tag{3.24}$$

$$\frac{B}{d}=k_B\left(\frac{1+2m}{1-2m}\right)^{\frac{1+m}{3+2m}}\cdot Fr^{\frac{2-3m}{3-2m}} \tag{3.25}$$

$$\frac{v}{(gd)^{1/2}}=k_v\left(\frac{1-2m}{1+2m}\cdot Fr\right)^{\frac{m}{3-2m}} \tag{3.26}$$

unde k_h, k_B și k_v sînt niște constante. Pentru $m=\frac{1}{4}$,

$$h\sim Q^{0{,}4}, B\sim Q^{0{,}5} \text{ și } v\sim Q^{0{,}10} \tag{3.27}$$

$$\text{Pentru } m=\frac{1}{6};\; h\sim Q^{0,375};\quad B\sim Q^{0,562} \text{ și } v\sim Q^{0,00625} \tag{3.28}$$

Aceste relații concordă foarte bine cu datele obținute din măsurători și observații în albiile rîurilor. Din (3.24) și (3.25) rezultă:

$$\frac{B^{\frac{1}{2-3m}}}{h}=k_r\left(\frac{1+2m}{1-2m}\right)^{\frac{1}{2-3m}}\frac{1}{d^{\frac{1-3m}{2-3m}}}=K(d) \tag{3.29}$$

adică o relație de tip A l t u n i n. Pentru $m=\frac{1}{6}$ se obține:

$$\frac{B^{\frac{2}{3}}}{h}=K(d) \tag{3.30}$$

iar pentru $m=\frac{1}{4}$:

$$\frac{B^{\frac{4}{5}}}{h}=K(d) \tag{3.31}$$

Forma secțiunilor transversale a albiilor rîurilor prezintă variații mari de la un sector la altul. În sectoare rectilinii se poate obține ecuația unei forme idealizate a secțiunii transversale, pornind de la condiția de echilibru a particulelor solide pe taluzul secțiunii. Pentru urmărirea mai ușoară a raționamentului, se consideră întîi o secțiune de formă trapezoidală, avînd taluzul înclinat sub un unghi Φ față de bază (fig. 3.4, *a*).

Asupra unei particule solide de greutate G, situată pe taluz acționează următoarele forțe:

— $G \sin \Phi$ — componenta în planul taluzului a forței de greutate;

$a\tau_t$ — forța tangențială de antrenare de către curent,

unde:

a este suprafața particulei în planul taluzului;
τ_t — efortul unitar de antrenare;

$G \cos \Phi \operatorname{tg} \theta$ — forța de rezistență (θ — unghiul de frecare internă).

Rezultanta forțelor $G \sin \Phi$ și $a\tau_t$ are expresia

$$R=\sqrt{G \sin^2 \Phi+a^2\tau_t^2} \tag{3.32}$$

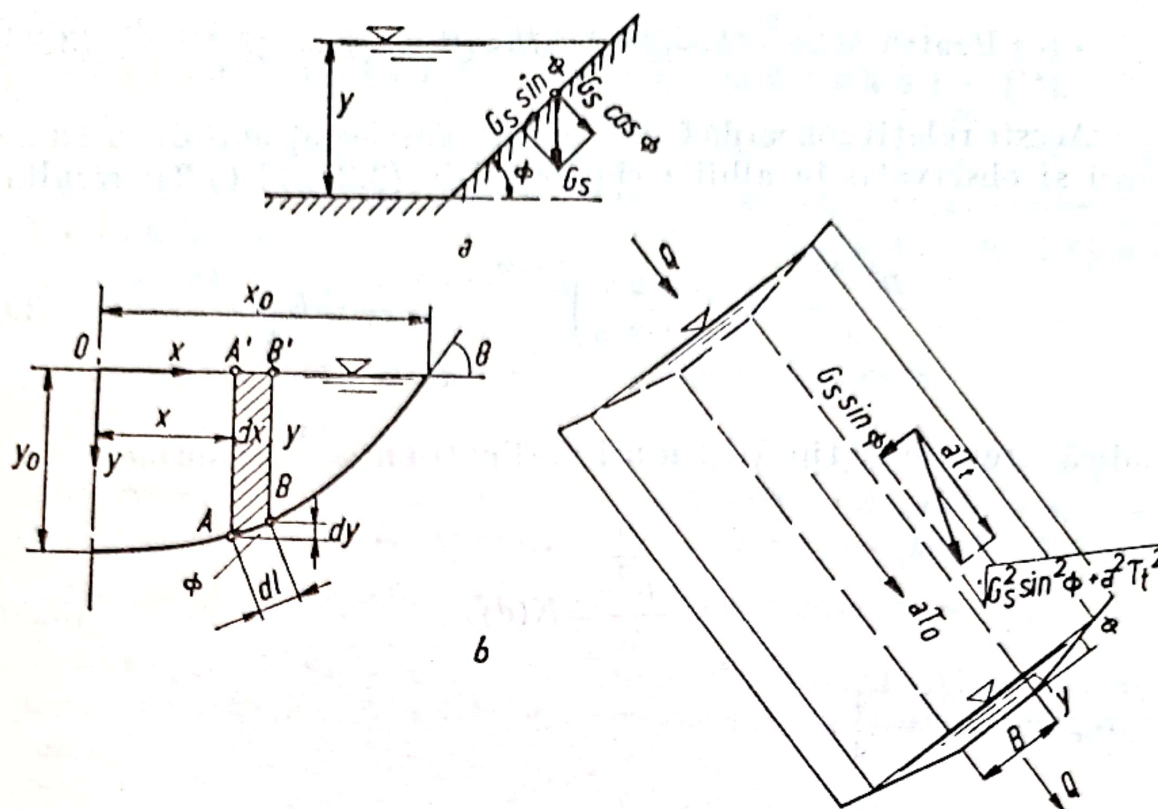


Fig. 3.4 — **Echilibrul particulei solide pe taluzul albiei:**
a — taluz cu pantă constantă; *b* — taluz cu pantă variabilă

iar condiţia de echilibru devine:

$$G \cos \Phi \ \mathrm{tg}\ \theta = \sqrt{G^2 \sin^2 \Phi + a^2 \tau_t^2} \tag{3.33}$$

de unde:

$$\tau_t = \frac{G}{a} \cos \Phi \ \mathrm{tg}\ \theta \sqrt{1 - \mathrm{tg}^2 \Phi / \mathrm{tg}^2 \theta} \tag{3.34}$$

Pentru $\Phi = 0$ (pe fundul albiei)

$$\tau_0 = \frac{G}{a} \mathrm{tg}\ \theta \tag{3.35}$$

Prin urmare, în locul relaţiei (3.34) se poate scrie:

$$\tau_t = \tau_0 \cos \Phi \sqrt{1 - \mathrm{tg}^2 \Phi / \mathrm{tg}^2 \theta} \tag{3.36}$$

Să considerăm apoi o secţiune de rîu, al cărei taluz are o variaţie continuă (fig. 3.4. *b*). Relaţia (3.36) este valabilă şi în acest caz, numai că unghiul Φ este variabil în lungul axului x, avînd valori cuprinse între $\Phi = 0$ pentru $x = 0$ $(y = y_0)$ şi $\Phi = \theta$ pentru $x = \frac{B}{2}$ $(y = 0)$, unde B este lăţimea albiei minore.

Efortul unitar τ_t mai poate fi exprimat şi în funcţie de caracteristicile curentului. În acest scop să delimităm o fîşie AB de lăţime dx. Pe această fîşie forţa de frecare pe unitatea de lungime a albiei are expresia:

$$dT = \gamma y i dx \tag{3.37}$$

unde:

i este panta suprafeţei libere a curentului;
y — adîncimea faţă de suprafaţa liberă;
γ — greutatea specifică a apei

Forţa dT acţionează pe suprafaţa $1 \cdot dl = \sqrt{dx^2 + dy^2}$. Efortul unitar tangenţial rezultă:

$$\tau_t = \frac{dT}{dl} = \gamma y i \frac{dx}{dl} = \gamma y i \cos \Phi \tag{3.38}$$

Pentru $x=0$ avem $\Phi=0$, $y=y_0$ şi

$$\tau_0 = \gamma y_0 i \tag{3.39}$$

Relaţia (3.36) mai poate fi scrisă:

$$\tau_t = \gamma y_0 i \cos \Phi \sqrt{1 - \mathrm{tg}^2 \Phi / \mathrm{tg}^2 \theta} \tag{3.40}$$

Egalînd (3.40) cu (3.38), se obţine:

$$\gamma y i \cos \Phi = \gamma y_0 i \cos \Phi \sqrt{1 - \mathrm{tg}^2 \Phi / \mathrm{tg}^2 \theta}$$

de unde, înlocuind $\mathrm{tg}\, \Phi = \frac{dy}{dx}$, rezultă:

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 + \frac{y^2}{y_0^2} \mathrm{tg}^2 \theta = \mathrm{tg}^2 \theta \tag{3.41}$$

Soluţia acestei ecuaţii diferenţiale este tocmai ecuaţia formei secţiunii transversale:

$$y = y_0 \cos\left(\frac{\mathrm{tg}\, \theta}{y_0} x\right) \tag{3.42}$$

Prin urmare, forma secţiunii transversale corespunde unei cosinusoide.

Deficienţa principală a formulei (3.42) constă în faptul cu nu reflectă fizica procesului de formare a albiei descris de relaţii de tip (3.17) sau (3.29).

Într-adevăr, din relaţia (3.42) se obţine:

$$\cos\left(\frac{\mathrm{tg}\, \theta}{y_0} \cdot \frac{B}{2}\right) = 0 \quad \text{sau} \quad B = \frac{\pi y_0}{\mathrm{tg}\, \theta} \tag{3.43}$$

și $\omega=2\int_0^{\frac{B}{2}} y dx = 2\, y_0 \int_0^{\frac{B}{2}} \cos\left(\frac{\operatorname{tg}\theta}{y_0}\, x\right) dx = 2\,\frac{y_0^2}{\operatorname{tg}\theta} \sin\left(\frac{B}{2\, y_0} \operatorname{tg}\theta\right)$

Ținînd seama de (3.43), rezultă:

$$\omega=2\,\frac{y_0^2}{\operatorname{tg}\theta}\,;\quad h=\frac{\omega}{B}=\frac{2}{\pi}\, y_0 \qquad (3.44)$$

$$\frac{B}{h}=\frac{\pi^2}{2\operatorname{tg}\theta}=\text{const.} \qquad (3.45)$$

în timp ce după toate datele din măsurători lățimea albiei nu crește proporțional cu adîncimea medie, ci cu adîncimea medie la o putere supraunitară (această observație este valabilă în egală măsură și în ceea ce privește relațiile morfometrice obținute de Henderson [25] care utilizînd expresia (3.42) a ajuns la relații de tip (3.45)).

Albiile rîurilor se formează în domeniul valorilor $v>v_{cr}$, respectiv $\tau>\tau_{cr}$, iar microrelieful de pe fundul albiilor nu mai dă dreptul să se scrie relația (3.33).

În coturi, secțiunea transversală a albiei se deformează, adîncimea medie crește, iar adîncimea maximă se realizează lîngă malul concav (fig. 3.5)).

Între adîncimea medie (h_c) în coturi și adîncimea medie (h) în aliniament, există relația stabilită de Boussinesq și precizată de Altunin [2]:

$$h_c=h\left(1+\sigma\left(\frac{B}{r}\right)^{1/2}\right) \qquad (3.46)$$

unde:

r este raza de curbură;

σ — un coeficient morfometric ale cărui valori se pot lua din tabelul 3.1.

Între adîncimea maximă $h_{c\,max}$ în coturi și adîncimea medie în aliniament se poate admite o relație de proporționalitate:

$$h_{c\,max}=C_\sigma\, h \qquad (3.47)$$

unde:

C_σ — se determină cu ajutorul tabelului 3.1.

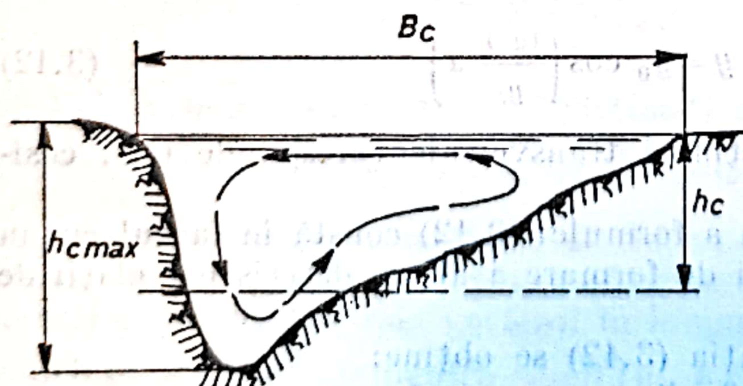


Fig. 3.5 — Secțiunea transversală a albiei în coturi

Tabelul 3.1

Valorile coeficienţilor σ şi C_σ (după Altunin)

$\frac{r}{B}$	6	5	4	3	2	1,5
σ	0,60	0,60	0,65	0,75	0,85	2,0
C_σ	1,48	1,84	2,20	2,57	3,0	—

Cercetările efectuate de autor au condus la concluzia că între aria secţiunii de scurgere în aliniament şi aria secţiunii de scurgere ω_c în coturi există o relaţie morfometrică simplă:

$$\omega = \omega_c \tag{3.48}$$

explicabilă prin aceea că, în coturi lăţimea albiei este mai mică decît în aliniament.

3.3. Traseul stabil al albiilor rîurilor

Toate observaţiile şi măsurătorile efectuate pînă în prezent au pus în evidenţă faptul că traseul relativ al albiilor rîurilor formate într-un pat aluvionar este cel meandrat.

Se poate arăta că pornind de la ecuaţiile hidraulicii şi de la unele relaţii morfometrice, traseul meandrat al albiilor rîurilor corespunde *principiului energiei disipate minime sau principiului debitului maxim* [15], [16].

Se presupune că în sectorul de rîu de lungime Δl_0, măsurată pe direcţia generală a curentului, se menţine o cădere de nivel Δz_0 corespunzătoare diferenţei de nivel de la capetele sectorului (fig. 3.6.)

Debitul Q_0 care poate să curgă în lungul acestui sector, însă într-o albie rectilinie, este dat de formula:

$$Q_0 = \frac{\omega}{n} h^{2/3} i_0^{1/2} \tag{3.49}$$

unde: $i_0 = \frac{\Delta z_0}{\Delta l_0}$ este panta medie; n — coeficientul de rugozitate.

În cazul unei albii meandrate, schematizate

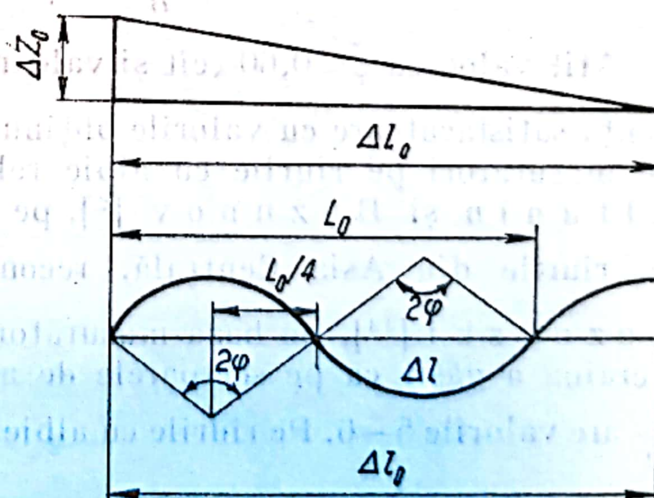


Fig. 3.6 — **Schema meandrelor albiei unui rîu**

cu ajutorul unor arce de cerc ca în figura 3.6, debitul capabil să curgă prin această albie poate fi calculat cu ajutorul formulei:

$$Q=\frac{\omega_c}{n}h_0^{2/3}\cdot i^{1/2} \tag{3.50}$$

sau ţinînd seama de (3.46) şi (3.48):

$$Q=\frac{\omega}{n}h^{2/3}\left(1+\sigma\sqrt{\frac{B}{r}}\right)^{2/3}\sqrt{\frac{\Delta z}{\Delta l}} \tag{3.51}$$

unde: Δl este lungimea traseului meandrat al albiei. Notînd cu 2φ unghiul la centru, corespunzător arcului de lungime $\frac{L}{2}$ şi admiţînd că între pasul meandrelor L şi lăţimea albiei B există o relaţie de tipul:

$$L=c\,B \tag{3.52}$$

unde: c are o valoare relativ constantă ($c=10-12$), relaţia (3.51) devine:

$$Q=Q_0(1+a_0\sqrt{\sin\varphi})^{2/3}\sqrt{\frac{\sin\varphi}{\varphi}} \tag{3.53}$$

cu $a_0=\sigma\sqrt{c}$.

Relaţia 3.53 ne arată că debitul maxim se obţine nu pentru valoarea $\varphi=0$, pentru care $Q=Q_0$ (albie rectilinie), ci pentru valoarea $\varphi=\tilde{\varphi}>0$ (albie meandrată) rezultată din ecuaţia:

$$\frac{dQ}{d\varphi}=0 \tag{3.54}$$

Calculele conduc la o valoare medie $\tilde{\varphi}=0,60$ şi o valoare a raportului:

$$\frac{r}{B}=5-6 \tag{3.55}$$

Atît valoarea $\tilde{\varphi}=0,60$,cît şi valoarea $\frac{r}{B}=5-6$ sînt în concordanţă satisfăcătoare cu valorile obţinute de unii cercetători pe bază de măsurători pe rîurile cu albie relativ stabilă. În particular, Altunin şi Buzunov [2], pe baza măsurătorilor efectuate pe rîurile din Asia Centrală, recomandă valorile $\frac{r}{B}=3,5-7$. Rozovski [43], pe baza măsurătorilor efectuate pe rîurile din Ucraina a găsit că pe sectoarele de albie relativ stabilă, raportul $\frac{r}{B}$ are valorile 5–6. Pe rîurile cu albie stabilă din R.S.R., raportul $\frac{r}{B}$, de asemenea, are valori apropiate de 5–6.

Meandrele au tendința să se deplaseze în timp în lungul rîului, chiar și la rîurile cu albie relativ stabilă (fig. 3.7).

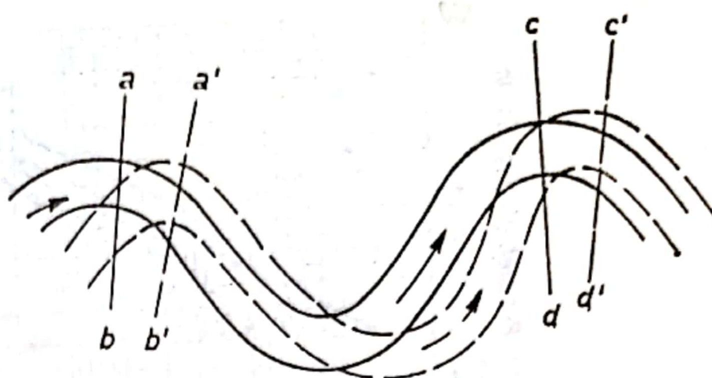


Fig. 3.7 — **Deplasarea longitudinală a albiei**

Aceasta se datorește faptului că acțiunea maximă de erodare a curentului este undeva în aval de vîrful curbelor, unde intensitatea circulației transversale este maximă (cap. 1) și unde, de fapt și adîncimile sînt maxime. Curenții de suprafață, mai puțin încărcați cu aluviuni, deci cu capacitate mare de erodare, au o acțiune de spălare a malului concav; pe cînd curenții de fund, încărcați cu aluviuni, depun aceste aluviuni spre malul convex, formînd adevărate plaje. De aici concluzia că pe malul convex nu sînt necesare lucrări de consolidare sau de apărare. Totodată meandrele pe rîurile cu albie instabilă au tendința să se dezvolte în timp în sensul măririi curburii și lungirii traseului. La un moment dat panta curgerii devine atît de mică, încît curentul nu mai are putere de erodare. La ape mari se poate produce străpungerea naturală a meandrelor, vechea albie devenind un braț mort (fig. 3.8).

Relațiile morfometrice prezentate în acest capitol necesită precizarea coeficienților morfometrici pe bază de măsurători pe sectoare de albie stabilă. De exemplu, în cazul relației (3.29), foarte mult utilizată la stabilirea secțiunii stabile a albiei regularizate, dacă pentru coeficientul m se poate adopta una din valori $m=\frac{1}{4}$ sau $m=\frac{1}{6}$, pentru coeficientul $K(d)$ este necesar să se apeleze la măsurători în cîteva secțiuni și să se determine o valoare medie a raportului

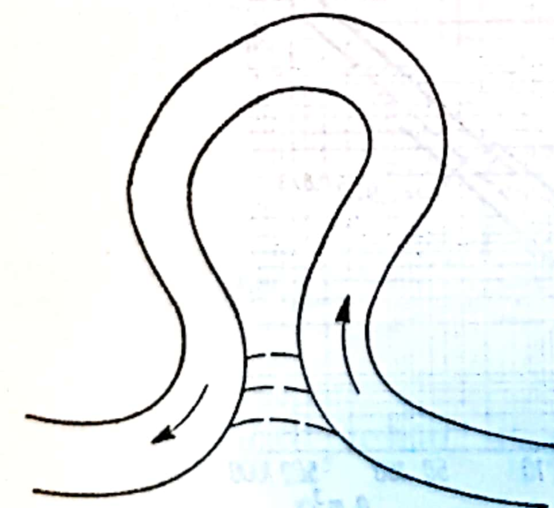


Fig. 3.8 — **Străpungerea naturală a meandrelor**

$$\frac{\frac{1}{B^{2-3m}}}{h}$$

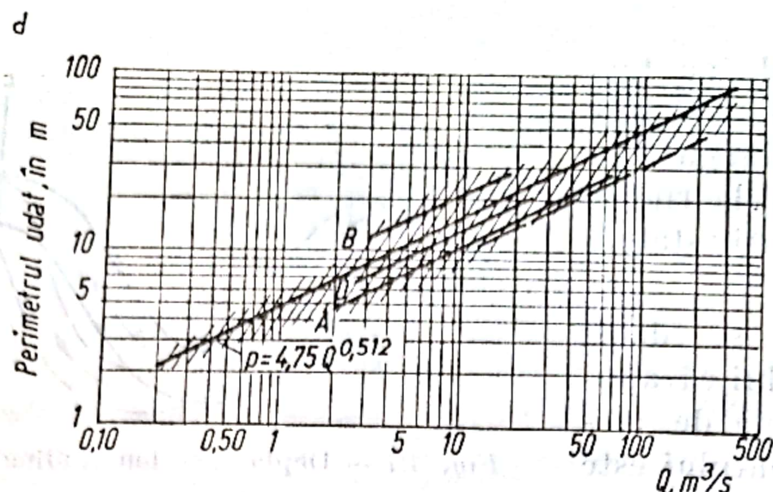


Fig. 3.9 — Diagrama perimetrului udat în funcție de debit

3.4. Rezultatele unor măsurători prelucrate sub formă de relații morfometrice

Pentru exemplificare, în figurile 3.9, 3.10, 3.11 și 3.12 se prezintă relațiile morfometrice propuse recent de către S i m m o n s și A l b e r t s o n [47] [37] pe baza unui mare volum de date din măsurători efectuate pe rîuri și canale din S.U.A. și pe canale din India.

Graficele au fost întocmite pentru albii cu regim lent de curgere a apei $\left(F_r = \frac{v^2}{gh} < 0{,}1\right)$ formate în următoarele condiții:

A — albii cu fundul și malurile constituite din material necoeziv, cu particule mari;

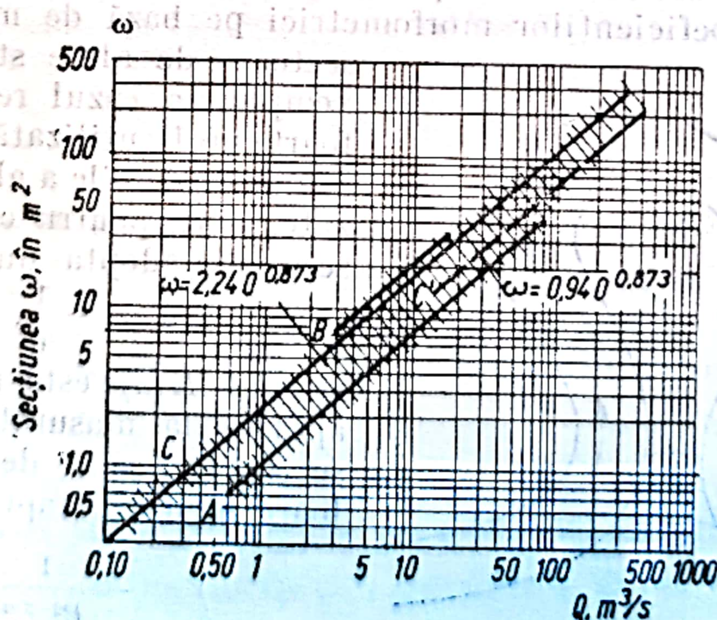


Fig. 3.10 — Diagrama razei hidraulice în funcție de debit

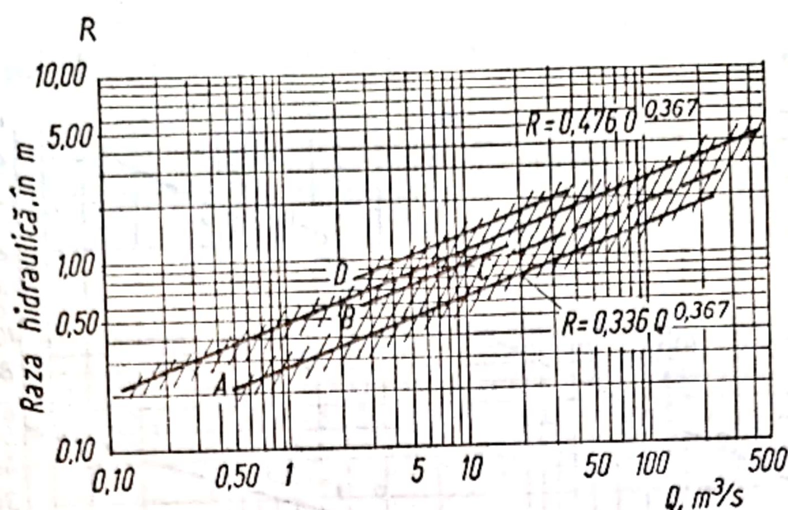


Fig. 3.11 — **Diagrama secţiunii de curgere în funcţie de debit**

B — albii cu fundul şi malurile din nisip;

C — albii cu fundul din nisip şi malurile din material coeziv;

C' — albii cu fundul din nisip şi malurile din material coeziv, dar cu turbiditate mare ($\mu > 500$ mg/l);

D — albii cu fundul şi malurile din material coeziv.

În figurile 3.13 şi 3.14 se prezintă graficele întocmite de V e l i k a n o v [49] privind relaţii morfometrice obţinute pe baza datelor din laborator, folosind analiza dimensională.

Prin urmare, datele din măsurători arată existenţa certă a unor relaţii care reflectă interacţiunea dintre un curent de apă şi patul mobil.

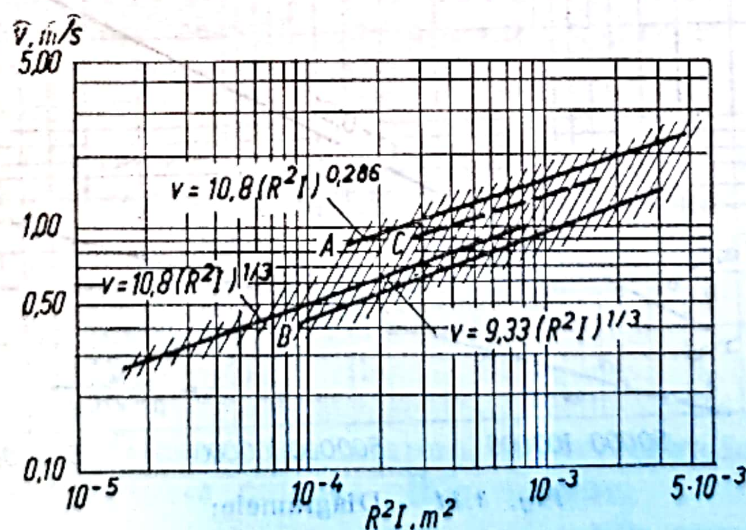


Fig. 3,12 — **Diagrama vitezei medii a curentului în funcţie de pantă**

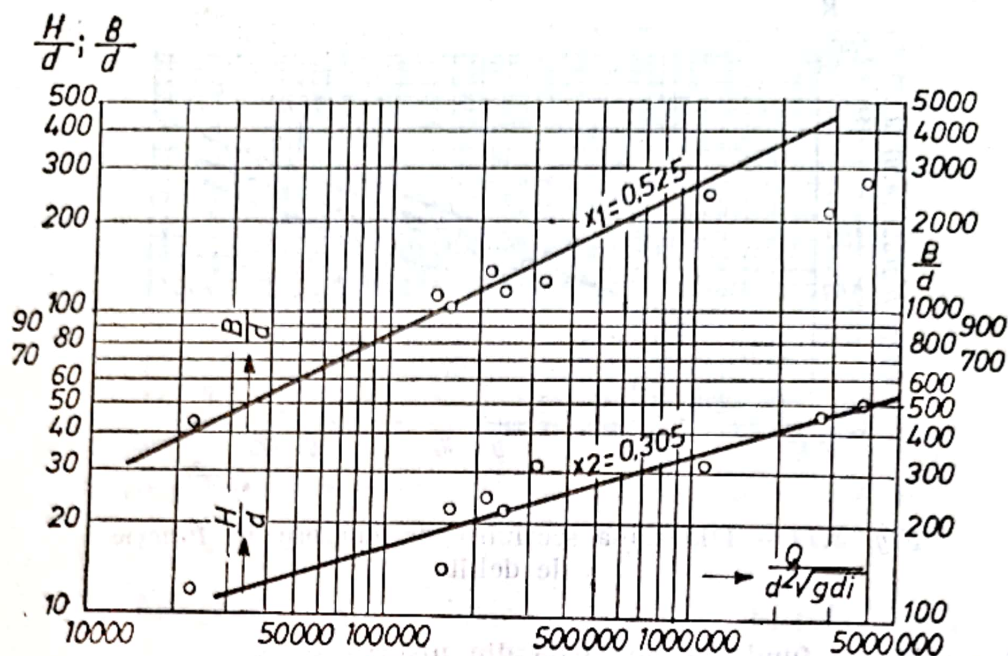


Fig. 3.13 — **Diagramele:**

$$\frac{B}{d} = k_1 \left(\frac{Q}{d^2\sqrt{g\,di}}\right)^{x_1}; \quad \frac{H}{d} = k_2 \left(\frac{Q}{d^2\sqrt{g\,di}}\right)^{x_2}$$

(după experiențele efectuate de S a r a ș c h i n a)

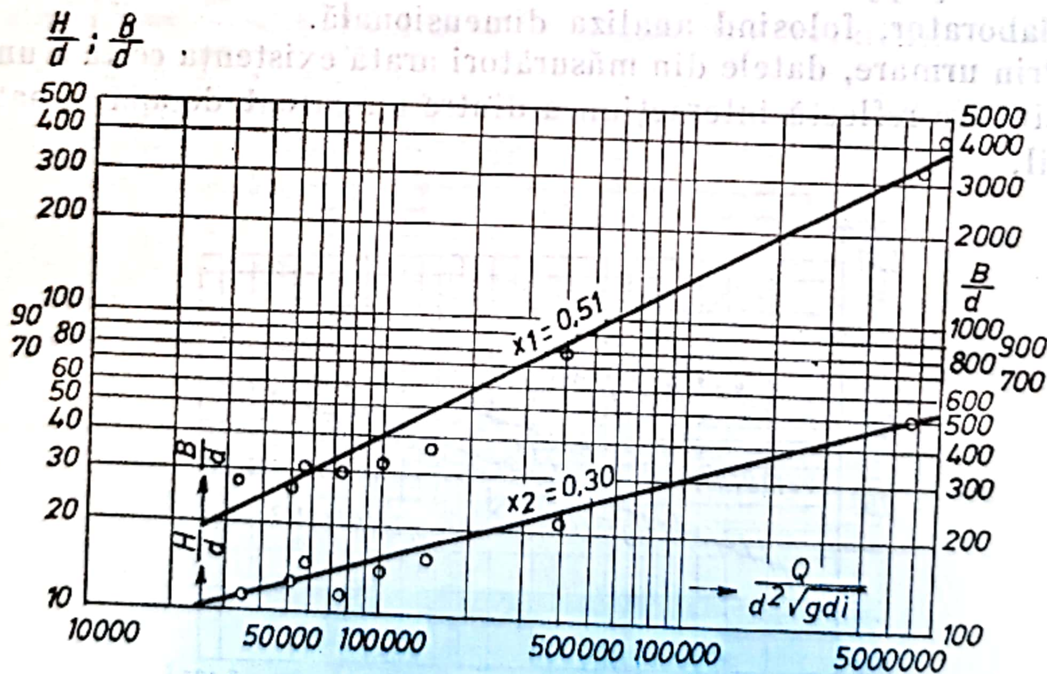


Fig. 3.14 — **Diagramele:**

$$\frac{B}{d} = k_1 \left(\frac{Q}{d^2\sqrt{g\,di}}\right)^{x_1}; \quad \frac{H}{d} = k_2 \left(\frac{Q}{d^2\sqrt{g\,di}}\right)^{x_2}$$

(după experiențele efectuate de A n d r e e v)

4. Principii, scheme şi tipuri de lucrări de regularizare şi îndiguire a albiilor rîurilor

4.1. Probleme generale la stabilirea schemei şi dimensiunilor lucrărilor de regularizare şi îndiguire a albiilor rîurilor

4.1.1. Principii privînd regularizarea albiilor rîurilor

Rolul lucrărilor de regularizare a albiilor rîurilor (este vorba de regullarizarea albiilor minore) constă, în principal, în crearea unei capacităţi sporite de transport al apei atît la debite mici, cît şi la debite mari, în apărarea unor obiective şi a terenurilor agricole împotriva acţiunii distructive a curenţilor, împotriva eroziunii şi prăbuşirii de maluri, în crearea unor condiţii favorabile de curgere a apelor în zona unor construcţii amplasate în albie (prize de apă, poduri etc.).

La alegerea schemei, la trasarea şi dimensionarea lucrărilor de regularizare a albiilor rîurilor trebuie respectate anumite principii, care derivă din necesitatea încadrării lucrărilor de regularizare în tendinţa generală de dezvoltare şi de menţinere a unei albii stabile. Dintre aceste principii menţionăm următoarele:

— Respectarea pe cît posibil a tendinţei naturale de evoluţie a albiei rîului, dacă această tendinţă nu contravine cu apărarea unor obiective din zonă şi cu crearea unor condiţii favorabile pentru curgerea apelor.

Încadrarea lucrărilor de regularizare în ansamblul amenajărilor prevăzute pe rîul respectiv, atît în amonte, cît şi în aval. Racordarea lor la lucrările existente în zonă. Tratarea unitară a lucrărilor de regularizare şi a lucrărilor de îndiguire.

— Menţinerea direcţiei curgerii apelor de viitură şi a capacităţii de transport a apelor mari, evitarea introducerii unor rezistenţe suplimentare în calea curgerii. Din acest motiv lucrările de închidere a braţelor, de stabilizare a albiei majore, se vor realiza submersibile, la cota corespunzătoare patului albiei majore.

— Adoptarea unor soluţii elastice, adaptabile unor afuieri sau modificări morfologice care se pot produce în albie, fără deteriorarea sau părăsirea lucrărilor executate.

— Realizarea, pe cît posibil în etape, a lucrărilor de regularizare, urmărindu-se evoluția în timp și în spațiu a fenomenelor morfologice și evitîndu-se unele efecte nedorite.

4.1.2. Îndiguirea albiilor majore ale rîurilor

În albiile majore ale rîurilor digurile au rol fie de apărare împotriva inundațiilor a obiectivelor din zonă, fie de dirijare a curenților la ape mari (diguri de dirijare la poduri, la prize și stații de pompare etc.).

La proiectarea și execuția digurilor în albiile majore ale rîurilor trebuie rezolvate următoarele probleme mai importante:

— amplasamentul și traseul digurilor;
— înălțimea digurilor;
— profilul transversal și condițiile de fundare a digurilor.

Nu este posibil să se analizeze toate aceste probleme în cadrul publicației de față. Se vor prezenta doar unele aspecte.

Important este ca lucrările de îndiguire să fie încadrate în ansamblul lucrărilor hidrotehnice pe rîul respectiv pentru combaterea inundațiilor și a excesului de umiditate (acumulări, derivații, regularizări de albii, desecări ș.a.). În mod deosebit lucrările de îndiguire trebuie analizate împreună cu lucrările de regularizare.

Cu privire la traseul și amplasamentul digurilor. La stabilirea amplasamentului și traseului digurilor se va avea în vedere pe de o parte necesitatea apărării unor suprafețe cît mai mari împotriva inundațiilor, pe de altă parte necesitatea asigurării unei capacități de transport a albiei corespunzătoare debitelor maxime cu asigurare de calcul și de verificare. Totodată stabilirea amplasamentului și traseului digurilor implică analiza și a condițiilor de curgere la ape mari (digurile trebuie să asigure o curgere fără desprindere de curenți și formare de vîrtejuri), a condițiilor de fundare (de exemplu fundarea digurilor pe terenuri turboase sau mîloase necesită lucrări costisitoare și dificil de realizat), a posibilității de folosire a grindurilor naturale (se obțin volume mai mici de terasamente), a distanței pînă la gropile de împrumut etc. De regulă se studiază mai mult amplasamente și trasee de dig împreună cu lucrările de consolidare și regularizare albiei pe care le necesită și se alege soluția optimă din punct de vedere tehnic și economic.

Cu privire la înălțimea digurilor. Înălțimea digurilor este condiționată de secțiunea de curgere necesară curentului la ape mari la debitul de calcul și la debitul de verificare. La un traseu dat al digurilor și la o secțiune cunoscută a albiei minore, înălțimea digu-

rilor se stabilește prin calcule hidraulice privind curbele suprafeței libere a apei la viitura cu debit maxim cu asigurare de calcul și cu asigurare de verificare.

Dacă lungimea l a sectorului de rîu îndiguit este relativ mică $\left(l<vT,\ v\right.$ — viteza medie a apei în albie la debitul Q_{max} de calcul, T — durata viiturii la debitul $\left.Q=\frac{Q_{max}}{2}\right)$ Calculele se efectuează în regim permanent. Dacă lungimea sectorului îndiguit este relativ mare ($l>vT$) calculele se efectuează în regim nepermanent. Metodica de calcul a fost expusă în capitolul 1.

Cunoscînd nivelul apei z_c la debitul maxim cu asigurarea de calcul și nivelul apei z_v la debitul maxim cu asigurare de verificare (inclusiv sporul de siguranță), cota la coronament a digului z_i trebuie să satisfacă relațiile:

$$z_d \geqslant z_c + h_v' + h_s \tag{4.1}$$

$$z_d \geqslant z_v \tag{4.2}$$

unde:

h_v' este înălțimea de deferlare pe taluz a valului produs de vînt;
h_s $\simeq$ 0,20 m o înălțime de siguranță.

Înălțimea h_v' se determină conform indicațiilor în literatura de specialitate [28]. Pentru rîurile din țara noastră se adoptă $h_v'+h_s=0{,}70-1{,}00$ m.

Taluzurile digurilor supuse acțiunii dinamice a curenților cu viteze mari sau acțiunii valurilor se protejează [36], [54].

Cu privire la profilul transversal al digurilor. Profilul transversal al digurilor este de fomă poligonală, de cele mai multe ori trapezoidală și se stabilește în funcție de natura și caracteristicile materialului de construcție folosit, de caracteristicile fundației, de înălțimea coloanei de apă din fața digului, de condițiile de siguranță pe care trebuie să le îndeplinească digul, de eventual și alte folosințe care i se acordă digului (de exemplu, cale de comunicație) etc. [8], [36].

4.1.3. Traseul albiilor regularizate și îndiguite

La regularizarea și îndiguirea albiilor rîurilor se urmărește ca traseul albiei minore și traseul digurilor din albia majoră să fie cît mai apropiate ca direcție.

Traseul albiei minore se alege respectînd în limitele acceptabile relațiile (3.52) și (3.55). Cînd traseul albiei este diferit de cel exis-

tent pe o lungime $l>(40-50)$ B, unde B este lăţimea albiei minore, noul traseu se proiectează ca în figura 4.1.

În cazul unor albii minore puternic meandrate se va căuta să se rectifice în special meandrele dezvoltate care provoacă o rezistenţă foarte mare la curgerea apelor mari.

Conform relaţiilor morfometrice expuse în capitolul precedent pentru albiile minore cu traseu stabil rezultă un coeficient de meandrare:

$$k=\frac{\widetilde{\varphi}}{\sin\widetilde{\varphi}}=\frac{0,6}{\sin 0,6}\simeq 1,1 \tag{4.3}$$

valoare care nu măreşte sensibil rezistenţa hidraulică în albie la ape mari. Menţinerea traseului stabil al albiei minore meandrate ($k\simeq 1,1$) necesită lucrări de consolidare de volum minim, amplasate numai pe malurile concave.

Se poate accepta şi un traseu rectiliniu pentru albia minoră ($k=1,0$), dar în acest caz albia trebuie să fie consolidată pe ambele maluri pe toată lungimea. O albie rectilinie cu maluri neconsolidate este instabilă, la scurt timp după execuţie se meandrează şi, mai devreme sau mai tîrziu, va reclama lucrări de consolidare a malurilor în coturi.

Traseul digurilor în albia majoră urmăreşte, în general, direcţia de curgere a apelor mari şi conturul obiectivelor de apărat, respectîndu-se indicaţiile din paragraful precedent. Distanţa dig-mal

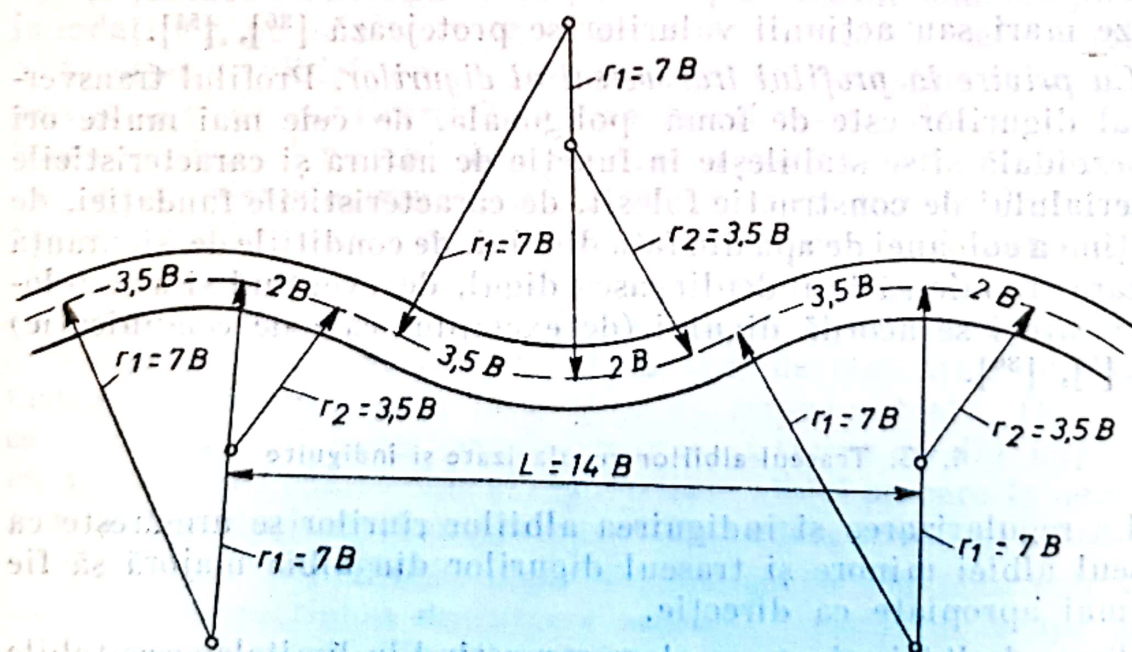


Fig. 4.1 — **Traseul albiei regularizate (după Altunin)**

se stabileşte ţinînd seama atît de stabilitatea albiei şi a construcţiilor de consolidare, cît şi de capacitatea de transport a albiei (minore şi majore) la ape mari.

4.1.4. Secţiunea transversală a albiei regularizate

Regim hidrologic natural (fără acumulări în amonte). Secţiunea transversală a albiei minore regularizate trebuie să corespundă relaţiilor morfometrice (3.14 şi (3.29)

Pentru $m=\frac{1}{6}$ se obţine:

$$B\,h^{7/6}=\frac{Q}{2\,a\sqrt{g\,\frac{\gamma_s-\gamma}{\gamma}\,d^{1/3}}}=\frac{Q}{k_0\sqrt{g}\;d^{1/3}}=cQ \tag{3.17}$$

$$\frac{B^{2/3}}{h}=K\,(d) \tag{3.30}$$

unde: $k_0\sqrt{g}=8$, pentru $d>\frac{0{,}7}{1\,000}\,m$, $k_0\sqrt{g}=9{,}6$, pentru $\frac{0{,}25}{1\,000}\,m<d<\frac{0{,}7}{1\,000}\,m$ şi $k_0\sqrt{g}=11{,}2$ pentru $d\simeq\frac{0{,}20}{1\,000}\,m$. Toate mărimile se exprimă în metri şi secunde, iar $K(d)$ se determină pe un sector model*

Sistemul de ecuaţii (3.17) şi (3.30) se rezolvă grafic, conform figurii 4.2. Se verifică apoi dacă panta locală (i) este aproximativ egală cu panta i_0, ce rezultă din relaţia lui C h é z y:

$$i_0=\frac{n^2\,v^2}{h^{4/3}}$$

unde: n este coeficientul de rugozitate al albiei. Dacă $i>i_0$, fie se produc eroziuni pe adîncime, fie se produce meandrarea albiei, fie se divide albia rîului în două sau mai multe braţe. Dacă $i<i_0$ se produc depuneri.

În coturi adîncimea medie şi maximă satisfac relaţiile (3.46) şi (3.47), iar aria secţiunii — relaţia (3.48).

În regimul natural al debitelor lichide şi solide nu se recomandă să se mărească excesiv secţiunea regularizată a albiilor rîurilor. Prin analiza unor sectoare de albie model se stabilesc secţiunea ω

---

* În unele cazuri este posibil ca şi constanta c să se determine pe sectorul de albie model.

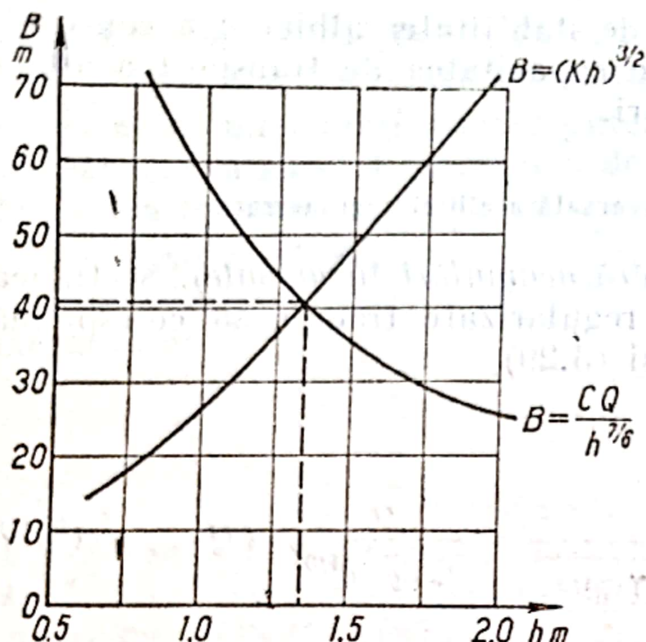


Fig. 4.2 — Soluţia grafică a ecuaţiilor (3.17) şi (3.30)

şi constantele morfometrice c şi k (relaţiile (3.17) şi (3.30). Secţiunea albiei regularizate poate fi mărită cu 10—20% faţă de secţiunea medie a sectorului de albie model. Prin lucrări de regularizare panta fundului albiei se uniformizează, albia se curăţă şi se aduce la o secţiune uniformă. O mărire excesivă a secţiunii de curgere este greu de întreţinut. Se produc depuneri de aluviuni, iar curăţirea lor necesită cheltuieli mari de exploatare şi întreţinere.

E x e m p l u d e c a l c u l. Se cere să se determine secţiunea albiei stabile a unui rîu, cu debit de formare $Q=100$ m³/s, panta albiei majore $i \simeq 0{,}0025$, diametrul aluviunilor $d_{90} \simeq 10$ mm. Pe un sector model s-a determinat $K(d)=8{,}8$. Avem:

$$Bh^{7/6}=\frac{100}{8(0,01)^{1/3}}=58$$

$$\frac{B^{2/3}}{h}=8{,}8$$

Rezultă $h \simeq 1{,}35$ m, $B=41$ m (fig. 4.1), $v=1{,}64$ m/s. $i_0=\frac{0{,}35^2 \cdot 1{,}64^2}{1{,}35^{4/3}}=$ $=0{,}0022$. Prin urmare se produce o uşoară meandrare a albiei.

Regim hidrologic modificat (acumulări şi amenajări de reţinere a aluviunilor în amonte). În condiţiile unui regim hidrologic modificat problema principală care se pune la dimensionarea secţiunii de curgere a albiei minore regularizate este stabilirea „debitului de formare a albiei". Dacă în bazinul hidrografic al rîului respectiv în amonte de sectorul care se analizează, se realizează acumulări sau lucrări de corectare a torenţilor şi de combatere a eroziunii solului, regimul debitelor lichide şi debitelor solide va fi altul decît regimul natural.

În regim natural debitul de apă (Q) al rîului pe un sector dat are o acţiune de erodare asupra albiei, dacă debitul de aluviuni

transportate este mai mic decît capacitatea maximă de transport solid şi are o acţiune de depunere de aluviuni, dacă pe sectorul respectiv capacitatea de transport solid scade sub valoarea corespunzătoare debitului de aluviuni transportate. Prin umare, dacă la acelaşi debit lichid, prin amenajări hidrotehnice în bazinul hidrografic, se reduce cantitatea de aluviuni transportate de curent, albia rîului ajunge la o secţiune de echilibru morfologic mai mare decît în regim natural. La limită, dacă debitul de aluviuni s-ar reduce la zero, condiţia de stabilitate a secţiunii albiei minore devine:

$$v < v_{cr} \tag{4.4}$$

unde:

v_{cr} este viteza critică de antrenare a materialului din patul albiei;
v — viteza curentului la debitul Q, cel mai mare care apare în intervalul de timp în care se defineşte stabilitatea.

În acest caz nu ar mai fi nevoie de diguri, s-ar amenaja albiile la secţiuni care să conducă debitul maxim Q, s-ar consolida taluzele pentru ca să nu se deformeze prin meandrare, sau prin eroziunea fundului în cazul în care totuşi $v > v_{cr}$.

Faptul că, la acelaşi debit (Q) secţiunea de echilibru morfologic creşte pe măsură ce se reduce turbiditatea curentului, se vede şi în graficul din figura 3.11, dacă se compară curbele C şi C'.

Rezultă următoarea concluzie foarte importantă pentru practica amenajărilor hidrotehnice a rîurilor:

Se poate mări secţiunea de echilibru morfologic a albiilor minore a rîurilor prin reducerea aportului în aluviuni al afluenţilor şi al scurgerii pe versanţi. În consecinţă, la realizarea lucrărilor de regularizare şi îndiguire a albiei unui rîu se poate reduce atît înălţimea digurilor, cît şi distanţa dig-mal în albia majoră mărind corespunzător secţiunea de curgere a albiei minore, dacă în acelaşi timp se execută lucrări de combatere a eroziunii solului pe versanţi şi acumulări de reţinere a aluviunilor pe afluenţi.

În plus, secţiunea de echilibru morfologic a albiei minore a rîului trebuie raportată la „debitul de formare a albiei" corespunzător noului regim al debitelor, modificat de amenajările din bazinul hidrografic al rîului respectiv. În general, prin amenajările prevăzute în bazinul hidrografic se realizează o atenuare a undelor de viitură. În aceste condiţii „debitul de formare a albiei" este mult mai apropiat de valorile debitelor maxime cu frecvenţă rară (de exemplu, la debitul maxim cu asigurarea 1%) decît în regim natural.

Deocamdată nu s-a elaborat o metodă de calcul a secţiunii de echilibru morfologic a albiei minore a rîurilor în condiţiile unui regim hidrologic modificat.

Se poate estima această secţiune de echilibru morfologic folosind relaţiile între debitul solid transportat şi viteza curentului.

— Fie G_0 debitul solid al rîului în regim natural într-o secţiune dată şi fie ω_0 aria secţiunii de echilibru morfologic a albiei minore în acest regim natural.

— Fie Q_{f0} debitul lichid de formarea albiei şi v_0 viteza medie a curentului în albia minoră la acest debit. Conform relaţiilor (2.14) — (2.16) se poate scrie:

$$G_0 \sim B_0 \left(\frac{v_0}{v_{cro}}\right)^3 (v_0 - v_{cr\,0}) \tag{4.5}$$

unde:

B_0 este lăţimea albiei minore în regim natural;

$v_{cr\,0}$ — viteza critică în regim natural la „debitul de formare a albiei".

Se presupune că prin amenajări în bazinul hidrografic în amonte de secţiunea de calcul debitul solid s-a redus la valoarea G. Viteza de echilibru morfologic se obţine din relaţia:

$$G \sim B \left(\frac{v}{v_{cr}}\right)^3 (v - v_{cr}) \tag{4.6}$$

unde:

B, v şi v_{cr} corespund noii secţiuni de echilibru morfologic.

Rezultă:

$$\frac{\left(\frac{v}{v_{cr}}\right)^3 \left(\frac{v}{v_{cr}} - 1\right)}{\left(\frac{v_0}{v_{cr_0}}\right)^3 \left(\frac{v_0}{v_{cr_0}} - 1\right)} = \frac{G}{G_0} \cdot \frac{B_0}{B} \cdot \frac{v_{cr_0}}{v_{cr}} \tag{4.7}$$

Se admit relaţiile: $\frac{B_0}{B} = \left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^{3/5}$; $\omega_0 = \frac{\xi Q_{f0}}{v_0}$; $\omega = \frac{Q_f}{v}$

unde:

Q_f — debitul de formare a albiei în regim modificat, $\xi < 1$.

Relaţia (4.7) devine:

$$\frac{\left(\frac{v}{v_{cr}}\right)^{1/2} \left(\frac{v}{v_{cr}}\right)^2 \left(\frac{v}{v_{cr}} - 1\right)}{\left(\frac{v_0}{v_{cr_0}}\right)^{1/2} \left(\frac{v_0}{v_{cr_0}}\right)^2 \left(\frac{v_0}{v_{cr_0}} - 1\right)} = \frac{G}{G_0} \left(\frac{v_{cr_0}}{v_{cr}}\right)^{1/2} \left(\frac{\xi Q_{f_0}}{Q_f}\right)^{1/2} \tag{4.8}$$

Se notează:

$$x = \frac{v}{v_{cr}}, \quad a = \frac{v_0}{v_{cr_0}}, \quad e = \frac{G}{G_0}\left(\frac{v_{cr_0}}{v_{cr}}\right)^{1/2}\left(\frac{\xi Q_{f_0}}{Q_f}\right)^{1/2}$$

şi
$$F(x, a) = \frac{x^2(x-1)}{a^2(a-1)}\left(\frac{x}{a}\right)^{1/2} \qquad (4.9)$$

Funcţia $F(x, a)$ este prezentată în graficul din figura 4.3.

Cu linii întrerupte s-au reprezentat grafic valorile:

$$r = \frac{1}{\alpha}\frac{\omega}{\omega_0} \qquad (4.10)$$

unde:

$$\alpha = \frac{Q_f}{\xi Q_{f_0}} \cdot \frac{v_{cr_0}}{v_{cr}} \qquad (4.11)$$

Cunoscînd valorile r şi α se poate obţine valoarea raportului între secţiunea de echilibru morfologic a albiei regularizate şi secţiunea de echilibru morfologic a albiei naturale:

$$\frac{\omega}{\omega^0} = \alpha\, r \qquad (4.12)$$

Calculele se efectuează în felul următor:

— Se estimează cu cît se reduce debitul solid prin acumulările în amonte şi prin amenajările pe versanţi, respectiv raportul $\frac{G}{G_0}$.

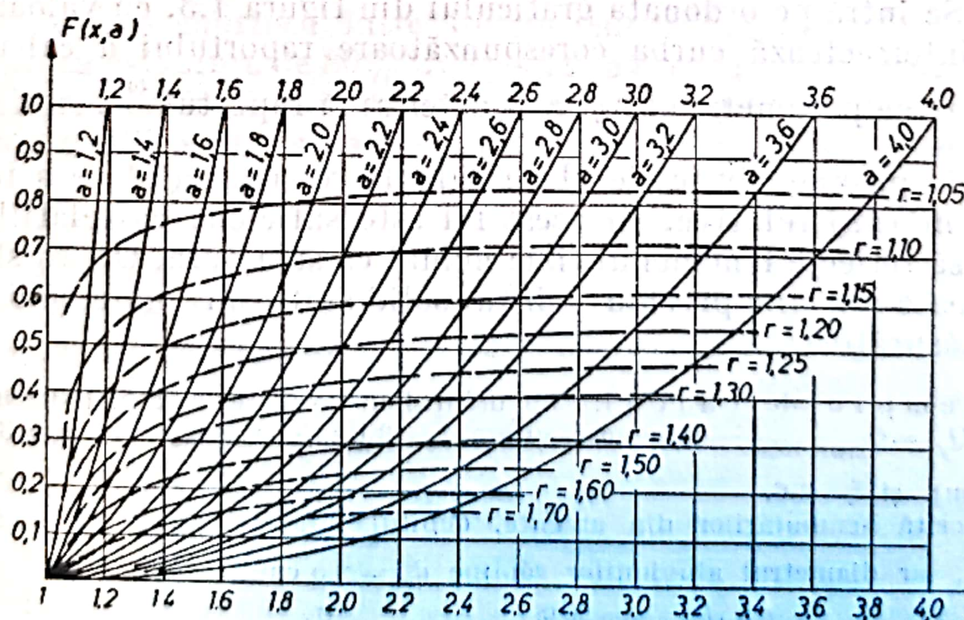


Fig. 4.3 — Graficul funcţiei $F(x, a)$

— Se estimează raportul între viteza critică de antrenare a materialului aluvionar în albie în regim modificat și aceeași viteză în regim natural $\frac{v_{cr}}{v_{cr_0}}$.

Viteza critică de antrenare a materialului aluvionar în regim modificat este mai mică decît în regim natural din două motive: diametrul aluvionar se reduce datorită acumulărilor din amonte, iar adîncimea curentului în albie se mărește prin calibrarea albiei. Prin urmare $\frac{v_{cr}}{v_{cr_0}} < 1$. Factorul mai important în reducerea vitezei critice poate fi diametrul aluviunilor (relația (2.5)).

— Se determină raportul între debitul de formare a albiei în regim natural Q_{f_0} și același debit în regim modificat Q_f. Întrucît prin acumulări se reduc debitele maxime pe rîu este probabil să existe relația $Q_f \neq Q_{f_0}$. Neavînd posibilitatea determinării acestui raport se admite:

$$\frac{Q_f}{Q_{f_0}} = 1.$$

— Se calculează valorile coeficienților ξ e și α și se determină raportul $a = \frac{v_0}{v_{cr_0}}$ corespunzător regimului natural la debitul Q_{f_0}. Pentru debitul Q_{f_0} se adoptă, de exemplu, debitul maxim cu asigurare (10—20%). Cunoscînd debitul care corespunde albiei minore Q_{m0}, se determină $\xi = Q_{m0}/Q_{f0}$.

— Se intră pe ordonata graficului din figura 4.3. cu valoarea e și se intersectează curba corespunzătoare raportului a calculat. Cu valoarea parametrilor r și α se determină raportul $\frac{\omega}{\omega_0}$.

Deși aproximativ modelul de calcul are avantajul de a folosi numai mărimi relative. În acest fel este suficient ca relațiile de calcul să reflecte fenomenul fizic numai ca structură. Or, ca structură, toate relațiile privind debitul solid sînt confirmate de datele din măsurători.

Exemplu de calcul: La debitul de formare a albiei în regim natural $Q_{f_0} = Q_{max\ 10\%}$ — se cunosc viteza $v_0 = 3{,}6$ m/s, $v_{cr_0} = 1{,}8$ m/s ($h = 3{,}0$ m; $d_{90}^0 = 5$ cm). și $\xi = 0{,}6$.

Datorită acumulărilor din amonte, debitul solid se reduce la jumătate, $\frac{G}{G_0} = 0{,}5$, iar diametrul aluviunilor rămîne $d_{90} = \simeq 5$ cm.

Se obține $\frac{v_{cr}}{v_{cr_0}} \simeq \left(\frac{h}{h_0}\right)^{1/6} = \left(\frac{w}{w_0}\right)^{1/15}$ Considerînd $\frac{Q_f}{Q_{f_0}} = 1$, rezultă $e = 0{,}37$, $a = 2$

și $\alpha=1,6$. Cu ajutorul graficului din figura 4.3 se obține $r=1,27$, de unde:

$$\frac{\omega}{\omega_0}=1,6\cdot 1,27=2,03$$

Corectînd raportul vitezelor critice reluăm calculele în a doua aproximație:

$$\frac{v_{cr}}{v_{cr_0}}=\left(\frac{w}{w_0}\right)^{1/15}=1,05;$$

$$c=0,36;\ \ \alpha=1,55;\ \ r=1,27;\ \ \frac{\omega}{\omega_0}=1,27\cdot 1,55\simeq 2,00$$

4.2. Tipuri de lucrări de regularizare a albiilor rîurilor

4.2.1. Apărări (consolidări) de maluri prin îmbrăcăminți

Apărările de maluri sînt construcții de protejare a malului albiei rîului împotriva acțiunii de erodare sau de degradare provocate de curentul apei, de scurgerea sloiurilor de gheață și a altor plutitori, de valuri etc. Pe înălțime, malul este supus acțiunii de erodare și de degradare diferențiat, în funcție de poziția și de frecvența nivelului apei. În mod convențional malul albiei se împarte în următoarele zone (fig. 4.4):

Zona 1 — sub nivelul minim cu asigurare de 80%, caracterizată prin aceea că aproape în permanență este acoperită cu apă. Numai în perioadele de ape mici cu frecvență mai mică de o dată la cinci ani nivelul apei poate fi mai coborît.

Zona 2 — cuprinsă între nivelul mediu al apelor și nivelul minim cu asigurare de 80%. Această zonă se caracterizează printr-o solicitare continuă a malului de către curentul de apă, deși, în timpul anului sînt perioade cînd o parte din această zonă este deasupra nivelului apei.

Zonele 1 și 2 sînt supuse acțiunii de erodare de către curent pe o durată mare de timp și lucrările de protejare a malului sînt foarte solicitate. De aceea și tipul de lucrări folosit este mai pretențios. În zona 1, însă malul albiei fiind permanent sub apă, poate fi folosit pentru

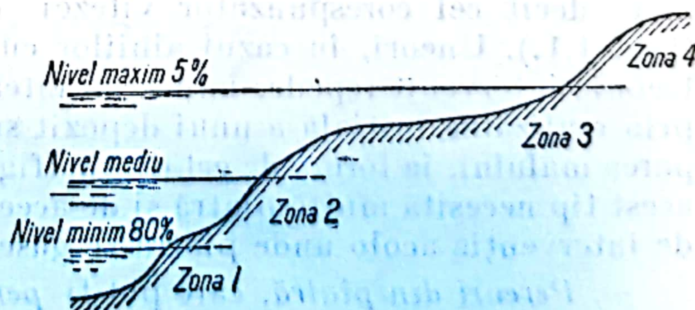


Fig. 4.4 — Împărțirea în zone pe înălțime a malului albiei

protecție și material lemnos „mort“ (de ex., saltea de fascine), fără să existe pericolul putrezirii.

Zona 3 — cuprinsă între nivelul mediu și nivelul maxim cu asigurare 5%. În această zonă se înregistrează cele mai frecvente variații de nivel și malul albiei este supus atît la acțiunea de erodare a curenților la ape mari, cît mai ales la acțiunea gheţurilor. Lucrările de protejare ale acestei zone pot fi însă executate la uscat.

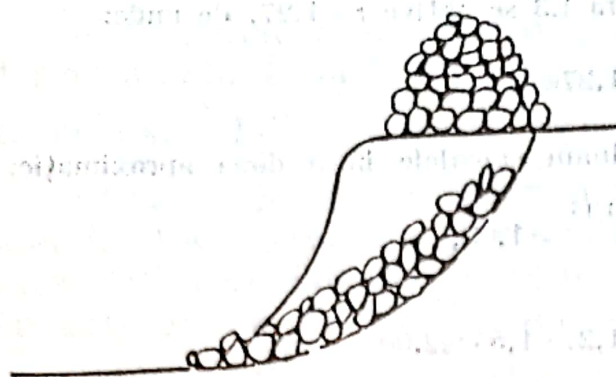


Fig. 4.5 — Apărarea de mal prin depozitarea pietrei pe malul instabil:
——— linie inițială a malului;
— — — — linia malului după consolidare

Zona 4 — deasupra nivelului maxim cu asigurare 5%, este supusă foarte rar (mai rar de o dată la 5 ani) la acțiunea curentului de apă din rîu și de aceea lucrările de protejare pot fi de tip ușor. Totodată, în această zonă lucrările de protejare apără malul împotriva curenților de șiroire care se produc în perioada precipitațiilor.

În funcție de gradul de afuiere a fundului albiei, apărările de mal sînt de două categorii:

— apărări de mal în *albii cu patul afuiabil*, cînd adîncimea afuierilor nu este limitată de roca de bază, și

— apărări de mal în *albii cu pat neafuiabil*, sau *puțin afuiabil*, cînd afuierile nu impun un tip special de lucrări de protejare sau măsuri speciale.

La lucrările de protejare a malurilor cel mai des folosite sînt *îmbrăcămințile de piatră* care pot fi:

— *Anrocamentele*, respectiv îngrămădiri de piatră brută pe malurile albiei mereu acoperite de apă, piatra avînd diametrul mai mare decît cel corespunzător vitezei de antrenare a curentului (tab. 4.1.). Uneori, în cazul albiilor cu maluri instabile, și, cînd trebuie intervenit repede, îmbrăcămintea de piatră se poate obține prin realizarea inițială a unui depozit sus pe mal, care, după surparea malului, ia forma de echilibru (fig. 4.5). Apărările de mal de acest tip necesită multă piatră și de aceea ele se folosesc ca măsură de intervenție acolo unde piatra se găsește din abundență.

— *Pereuri din piatră*, care pot fi *pereu uscat* sau *pereu rostuit*, *simplu sau dublu*, în funcție de viteza curentului din albie și de acțiunea gheţurilor. În general, pereul din piatră pe malurile din

pămînturi necoezive se execută pe un strat de filtru invers de cca. 20—25 cm (fig. 4.6). Dimensiunile pietrei variază în funcţie de viteza curentului de la 20 la 50 cm. La rîurile cu pat afuiabil, la

Tabelul 4.1

Vitezele de curgere, medii admisibile, pentru diferite tipuri de apărări de maluri

Nr. crt.	Tipul apărării	v_{ad} m/s
1	Pereu simplu de piatră pe un strat de pietriş sau pe filtru invers Dimensiunea pietrei: $d \simeq 0,15-0,25$ m $d \simeq 0,30-0,50$ m	 2,0—3,0 3,0—6,0
2	Pereu dublu de piatră brută pe un strat de pietriş sau de filtru invers $d \simeq 0,20-0,30$ m	 3,0—5,0
3	Anrocament din piatră pe taluz $d=(0,04-0,05)\ v^2$ (m)	
4	Straturi de nuiele	2—2,5
5	Straturi de fascine cu grosimea 0,50—100 m	2,5—5
6	Gabioane	2,5—5
7	Îmbrăcăminte din brazde	1,5

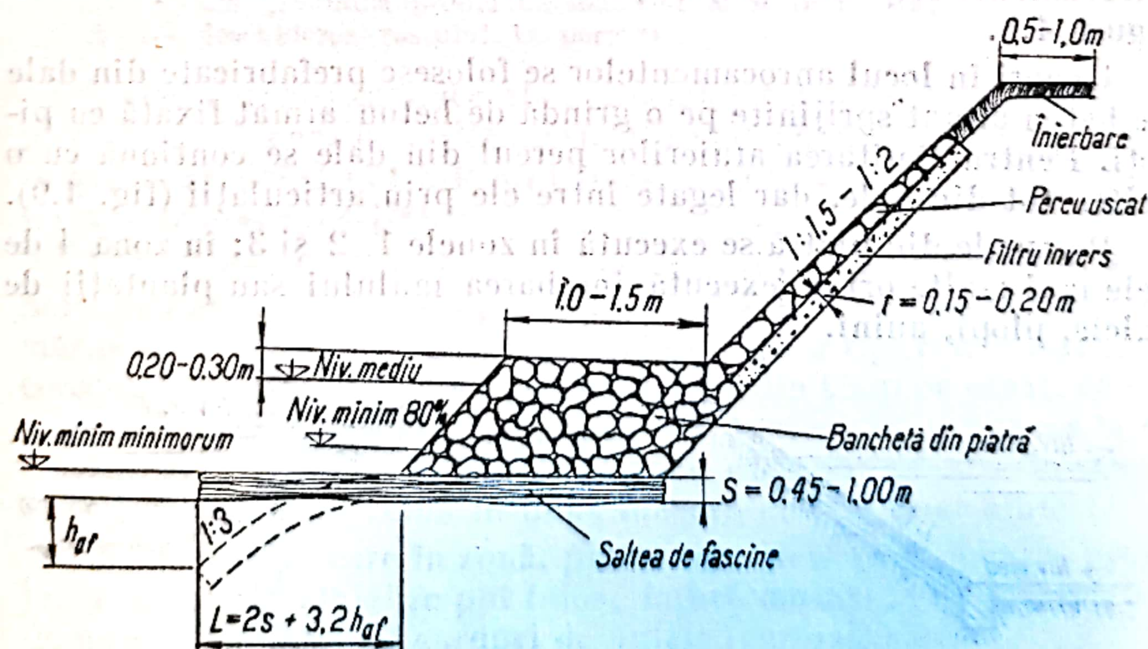


Fig. 4.6 — **Consolidare de mal cu anrocamente sau cu bolovani de rîu, cu pat afuiabil**

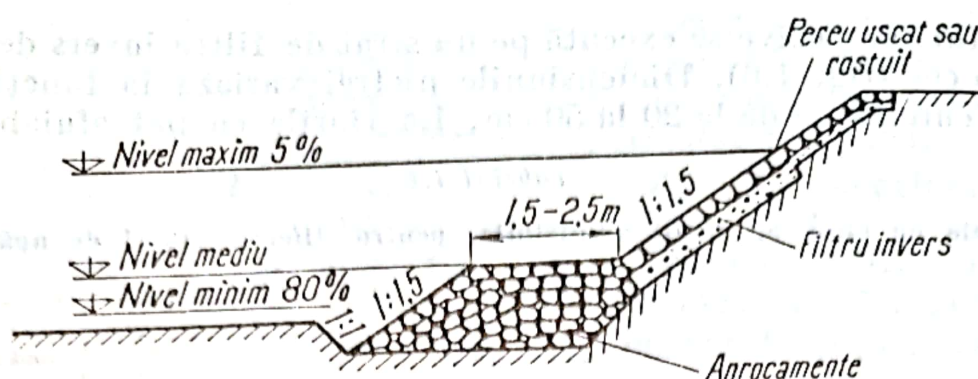


Fig. 4.7 — Pereu de piatră cu banchet la bază (albii cu pat afuiabil)

baza pereului se folosesc fie saltea de fascine (zona 1) și banchet de anrocamente, fie numai un banchet de anrocamente. Salteaua de fascine se mulează pe patul albiei, la apariția afuierilor și din acest motiv lungimea ei trebuie să fie suficientă pentru a realiza, după afuiere, o pantă nu mai mare de 1 : 3. De asemenea, banchetul de anrocamente trebuie să aibă cel puțin dimensiunile din figura 4.7. pentru a prelua eventuale afuieri, fără să afecteze stabilitatea pereului. Pentru mai multă siguranță cota de fundare a masivului de anrocamente se adoptă corespunzător adîncimii probabile de afuiere.

Dacă roca de bază este la suprafața fundului albiei, pereul din anrocamente se poate sprijini pe o fundație din beton simplu ca în figura 4.8.

Uneori în locul anrocamentelor se folosesc prefabricate din dale de beton armat sprijinite pe o grindă de beton armat fixată cu piloți. Pentru limitarea afuierilor pereul din dale se continuă cu o saltea tot din dale, dar legate între ele prin articulații (fig. 4.9).

Pereurile din piatră se execută în zonele 1, 2 și 3; în zona 4 de cele mai multe ori se execută inerbarea malului sau plantații de salcie, plopi, anini.

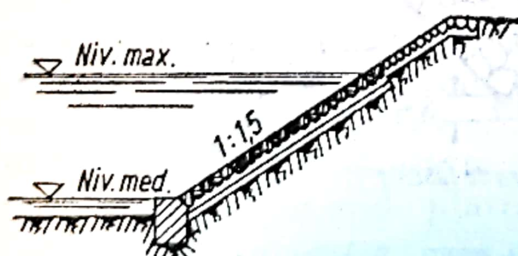


Fig. 4.8 — Apărare de mal cu pereu uscat

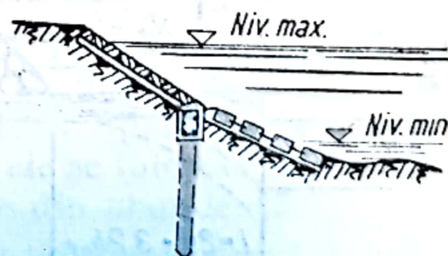


Fig. 4.9 — Saltea din dale de beton legate cu grindă de beton armat

Dacă v este viteza medie a curentului în m/s la ape mari, diametrul pietrei din anrocamente trebuie să satisfacă relația:

$$d \geqslant 0{,}05\ v^2\ \text{(m)} \tag{4.1}$$

Panta taluzului malului nu trebuie să fie mai mare decît cea corespunzătoare echilibrului natural (fără să se ia în considerare sarcina pereului).

Filtrul invers se realizează din straturi de piatră și nisip sortat, în ordinea crescîndă a granulației, dinspre mal spre curentul din albie. Granulometria straturilor se stabilește astfel, încît particulele din fiecare strat să nu pătrundă în interspațiile stratului superior [54].

Sînt multe rețete pentru alcătuirea filtrelor inverse, în funcție de caracteristicile pămînturilor pe care se așază (coezive, necoezive), de importanța lucrării, de natura materialului din care se construiește filtrul ș.a.

Pentru filtrul invers alcătuit din două straturi 1 și 2 (stratul 2 fiind în contact cu rosturile pereului) se recomandă ca diametrele granulelor să se găsească în următoarele relații:

$$\frac{d_{15}^2}{d_{15}^1} = 5-40; \quad \frac{d_{15}^2}{d_{85}^1} \leqslant 5 \quad \frac{d_{85}^2}{\Delta} \geqslant 2 \tag{4.2}$$

unde:

d_x este dimensiunea ochiului ciurului prin care trece un procent de x% din greutatea probei de material în stare uscată;

Δ — deschiderea rostului la pereuri.

Curbele granulometrice ale materialelor din fiecare strat să fie, pe cît posibil, paralele. Fiecare strat să aibă o grosime de cca. 10 cm în multe cazuri se pot înlocui filtrele prin straturi de balast neuniform, dar mai gros [54].

Apărări de mal foarte eficace se pot executa cu ajutorul gabioanelor sau al saltelelor din plasă de sîrmă zincată umplute cu piatră măruntă, sau de rîu. Avantajele mari ale acestor tipuri de construcții constau în posibilitatea confecționării lor din timp pe uscat, economisirea pietrei (de dimensiuni mari) și a materialului lemnos la lucrările de apărare și în rapiditatea cu care pot fi puse în operă. Fiind elastice pot prelua în bună măsură efectul unor afuieri.

În cazurile în care în zonă, piatra este deficitară, pentru protejarea malurilor albiei se pot folosi îmbrăcăminți „vii" din straturi de nuiele sau fascine, garduri de nuiele (caroiaj) ș.a.

Straturile de nuiele se așază pe un taluz cu panta maximă 1 : 2 cu cotoarele în jos și pe direcția de 45° față de direcția curentului.

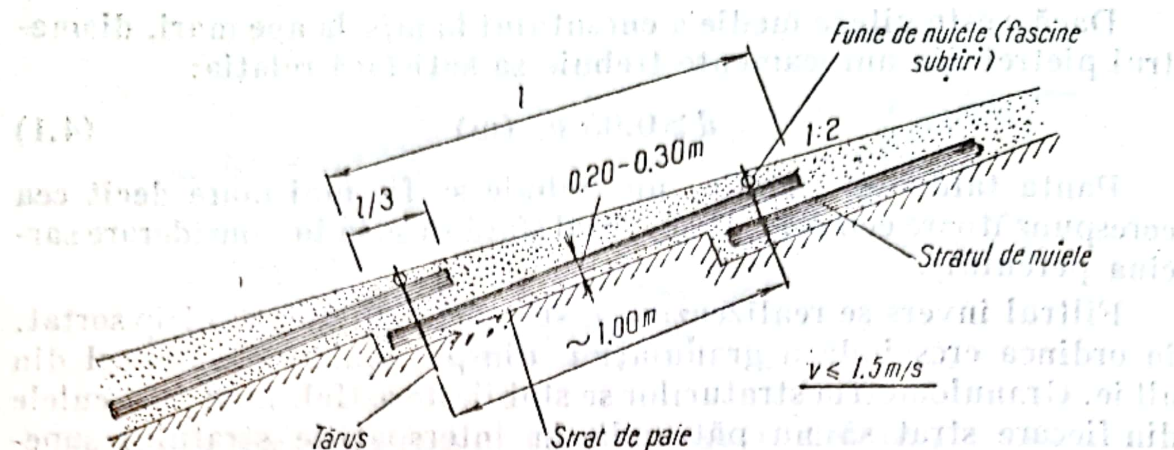


Fig. 4.10 — **Apărări de mal cu straturi de nuiele**

Nuielele pot fi proaspăt tăiate și să se suprapună pe cca. 1/3 din lungime, să fie îngropate în pămînt vegetal toamna sau iarna și să fie prinse cu țăruși care, ca și nuielele, trebuie să lăstărească (fig. 4.10). Viteza curentului nu trebuie să depășească 1,5 m/s.

Gardurile de nuiele (caroiajul) se realizează într-o rețea romboidală cu laturile de 0,75—1,0 m, iar în ochiurile astfel formate trebuie să se așeze piatră spartă sau de rîu pe o grosime de 20—30 cm (fig. 4.11).

Sub gardurile de nuiele, ca și sub stratul de nuiele se așază un strat de paie, pentru a preveni spălarea terenului. Gardurile de nuiele trebuie să lăstărească.

Un efect foarte important de reducere a vitezei curentului în zona malurilor și de stabilizare a malurilor cu pantă mică îl constituie plantațiile cu salcie, plopi, anini [42]. Efectul acestei apărări se obține însă, în timp (după 2—3 ani de la plantare). Plantațiile se aplică în zonele 3 și 4 ale malului, unde inundațiile nu durează mult și unde au condiții de dezvoltare (fig. 4.12). Înainte de

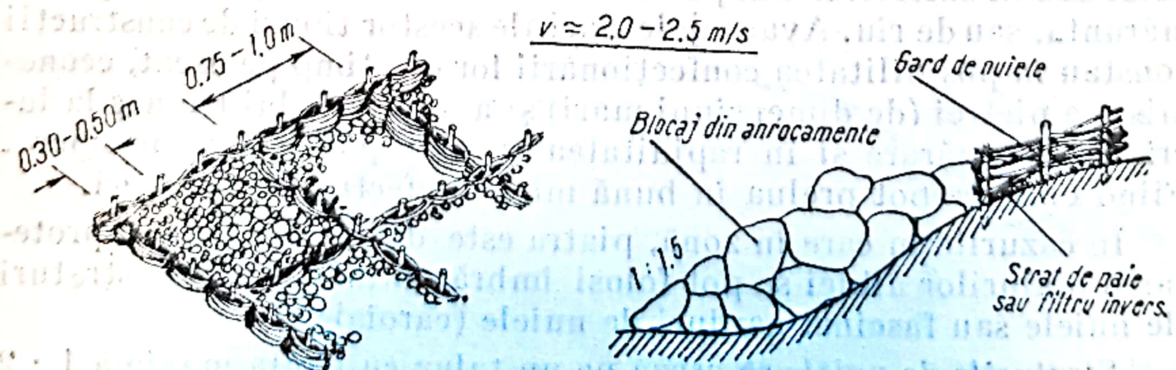


Fig. 4.11 — **Consolidarea taluzului cu garduri de nuiele (caroiaj)**

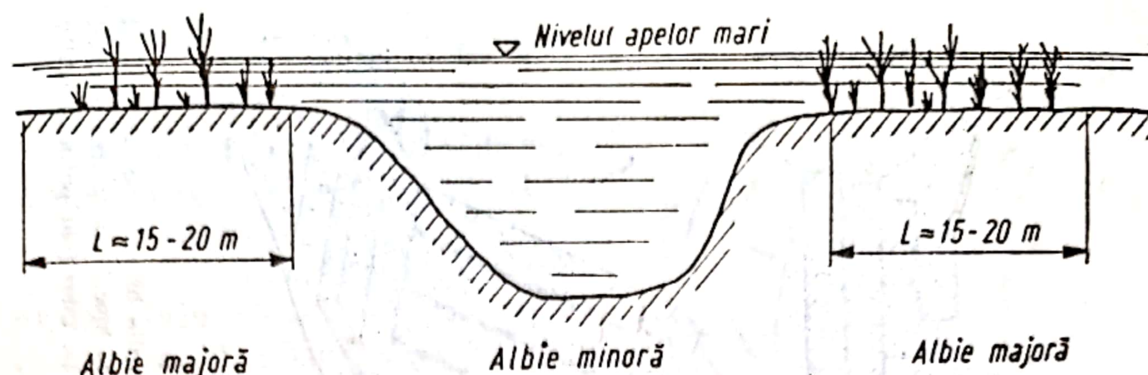


Fig. 4.12 — Plantaţii în zona a 4-a a malului

a aplica acest tip de îmbrăcăminte, trebuie făcută o analiză foarte temeinică asupra condiţiilor de curgere în albie a apelor mari. *Plantaţia trebuie aplicată fără să se reducă sensibil capacitatea de transport a albiei la ape mari, respectiv fără crearea unui remuu important suplimentar.*

Însămînţările şi brăzduirea pot realiza condiţii bune de stabilitate a malului şi se aplică în special în zona 4 şi uneori şi în zona 3 (la viteze mici ale curentului sub 1 m/s.) Brăzduirea se realizează din brazde din 20 ×25 cm sau din 25 ×25 cm şi 30 ×50 cm sau din fîşii, cu grosimea de 6—10 cm. Brazdele se pot aşeza pe lat sau în straturi suprapuse.

Pentru a stăvili rapid eroziunile de mal se pot executa *lucrări temporare* de tip uşor, cu efect imediat, ca *apărări de mal cu copaci lestaţi, şiruri de piloţi, garduri simple şi garduri duble*, dacă adîncimile sînt mici ş.a.

Apărările de mal cu copaci lestaţi se utilizează cînd viteza curentului de rîu nu depăşeşte 1,5—1,7 m/s. Copacii se folosesc cu ramuri şi frunze, aşa cum sînt tăiaţi din pădure şi se lestează cu blocuri de beton sau pietre în lungul malului erodat (fig. 4.13).

Alte tipuri de lucrări de apărare de mal sînt prezentate în figura 4.14. Alegerea unuia sau altuia din aceste tipuri se face în funcţie de caracteristicile rîului şi de materialele avute la dispoziţie.

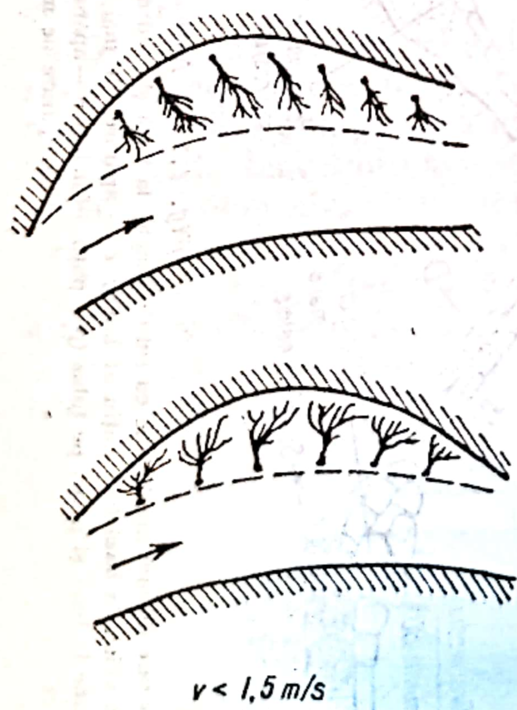


Fig. 4.13 — Apărări de mal cu copaci lestaţi

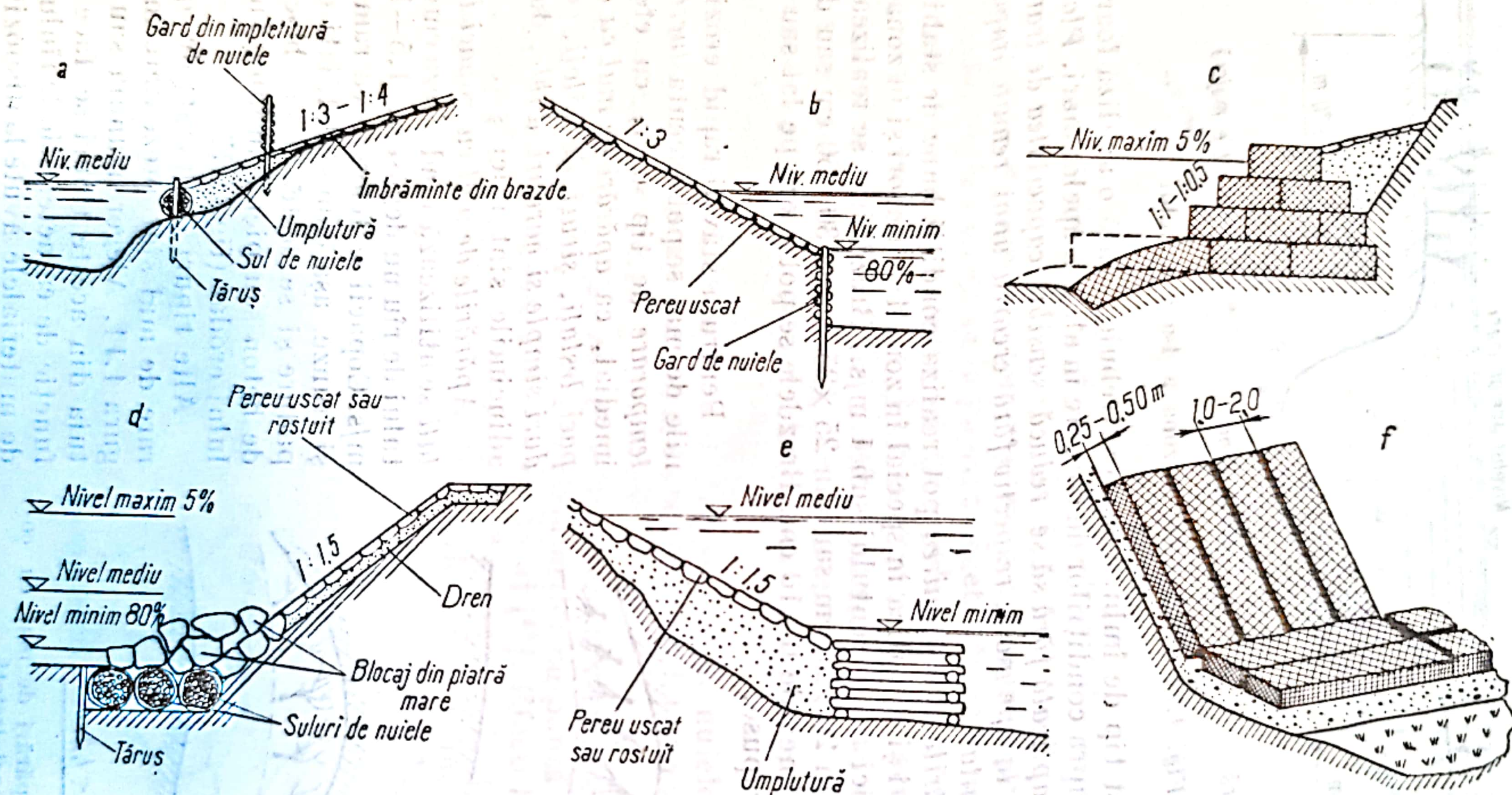


Fig. 4.14 — **Alte tipuri de apărări de mal:**

a — apărare de mal din brazde cu sul de nuiele la bază și gard de nuiele (pat puțin afuiabil); b — apărare de mal din brazde, pereu uscat și gard de nuiele la bază (pat puțin afuiabil); c — apărarea de mal cu gabioane (pat afuiabil); d — apărare de mal cu blocaj din piatră și suluri de fascine la bază și pereu pe taluz (pat puțin afuiabil) e — apărare de mal cu căsoaie de lemn la bază și cu pereu pe taluz (pat puțin afuiabil); f — apărare de mal cu saltele (pat afuiabil).

4.2.2. Diguri longitudinale (de consolidare)

Digurile longitudinale (de consolidare) se folosesc în cazul în care se urmărește ca dirijarea curgerii și conturarea malului albiei rîului să se facă uniform și continuu, fără turbioane și fără curenți transversali (ca în cazul epiurilor).

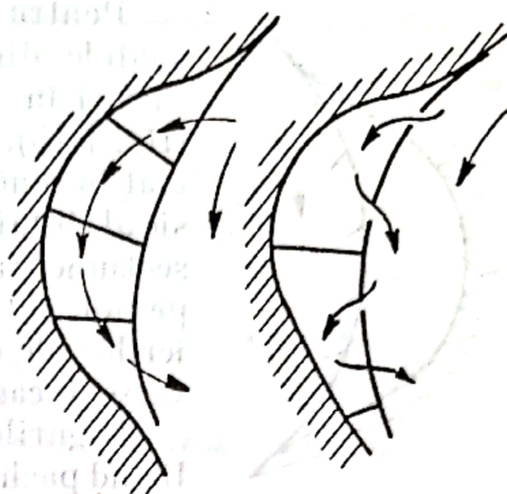


Fig. 4.15 — **Diguri longitudinale submersibile sau cu ferestre**

În raport cu epiurile, digurile longitudinale sînt elemente mai puțin adaptabile evoluției în timp a albiei rîului, poziția lor fixînd de la început traseul malului. Consolidarea patului albiei rîului la piciorul digului longitudinal trebuie să se facă pe toată lungimea digului. Dacă influența epiurilor asupra curgerii se întinde pe o lungime relativ mare, de cca. 4—5 ori și mai mult lungimea construcției însăși, influența digurilor longitudinale se resimte practic pe lungimea lor.

Toate acestea fac ca digurile longitudinale să fie mai costisitoare decît epiurile și să fie folosite numai acolo unde nu pot fi înlocuite cu epiuri.

De cele mai multe ori digurile longitudinale se execută submersibile, la cota albiei majore și numai în cazuri deosebite, cînd au rolul de apărare împotriva inundațiilor, se execută insubmersibile.

Digurile longitudinale se compun din corp și rădăcină, dacă ambele capete sînt încastrate în mal sau corp, rădăcină și cap, dacă un capăt este încastrat, iar celălalt este liber.

Rădăcina se încastrează bine în mal, pentru ca digul longitudinal să nu fie ocolit la ape mari. Lățimea la coronament se adoptă între 2 și 4 m, coronamentul avînd o pantă paralelă cu a suprafeței libere a apei.

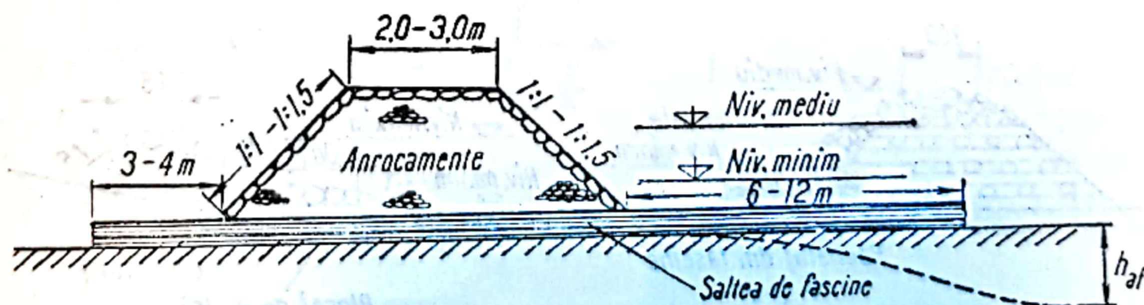


Fig. 4.16 — **Dig de dirijare cu pat afuiabil**

Pentru ca procesul de colmatare a albiei în spatele digului longitudinal să fie accelerat, uneori în corpul digului se practică ferestre (fig. 4.15). Procesul de colmatare poate fi apreciat în funcție de debitul de aluviuni în suspensie al rîului (cap. 2). În figura 4.16. se prezintă o secțiune transversală printr-un dig de dirijare pe un pat afuiabil. Pentru îndepărtarea afuierilor de corpul digului, uneori se prevăd traverse încastrate (fig. 4.17.).



Fig. 4.17 — Dig de dirijare cu traverse

Digurile longitudinale pot fi executate, utilizînd pachetaje, fascine, suluri, căsoaie, garduri de nuiele (fig. 4.18).

4.2.3. Epiuri

Epiurile sînt construcții de regularizare care se amplasează transversal în albiile rîurilor, realizînd o abatere și o dirijare a curenților pe un traseu dorit. Efectul lor este mai sigur și mai favorabil curgerii, dacă se prevăd în pachete de cel puțin 2—3 bucăți (fig. 4.19) și în combinații cu alte tipuri de lucrări de regularizare. Cu ajutorul epiurilor se poate obține o apărare eficientă a malurilor albiei.

Modelul de calcul al cinematicii curenților în zona epiurilor [17], [18], [22], se bazează pe teoria mișcării fluidelor cu puncte de desprindere a curenților. Ideea care stă la baza modelului de calcul constă în aceea că mișcarea fluidului în exteriorul vîrtejului este potențială, iar pe linia de separație a vîrtejului de curgere principală, forța de interacțiune are o valoare minimă (fig. 4.20).

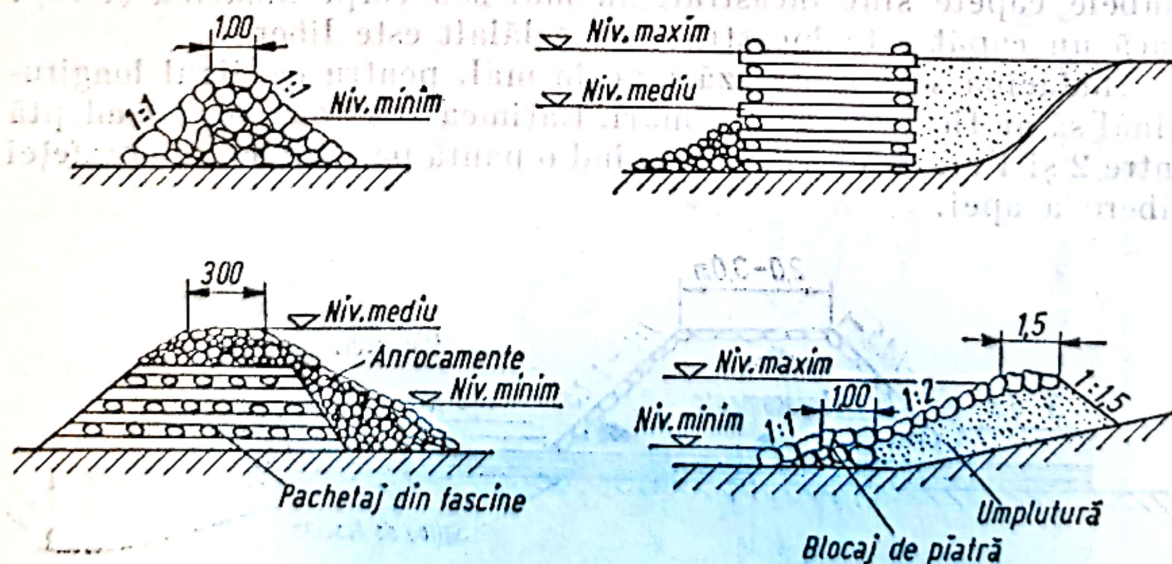


Fig. 4.18 — Diguri de dirijare din piatră, căsoaie și pachetaj din fascine

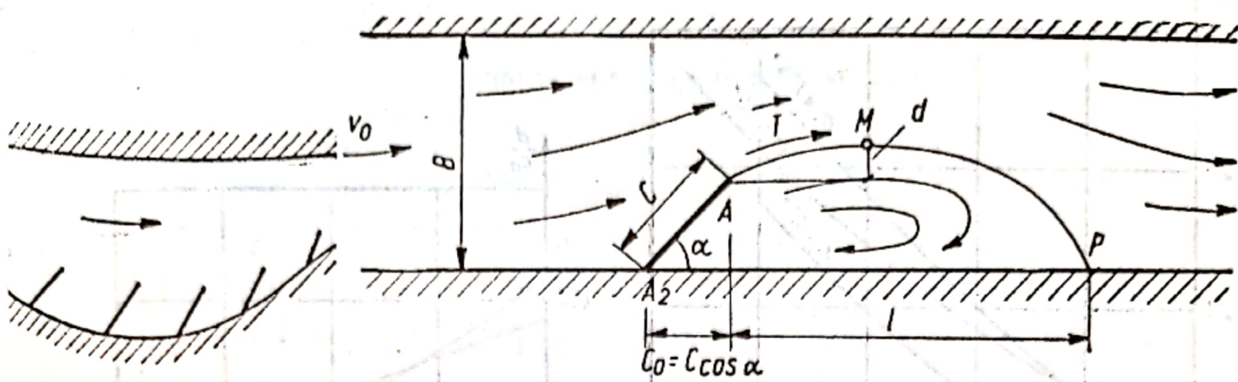
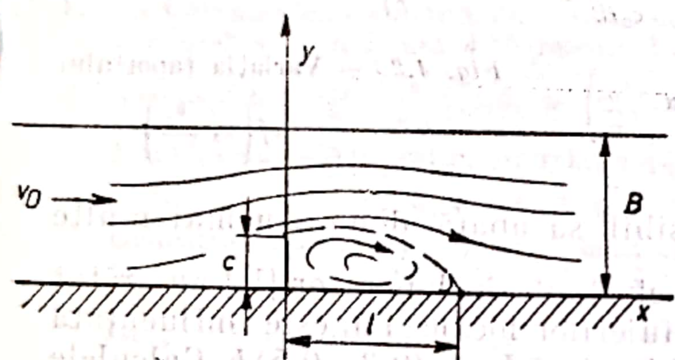


Fig. 4.19 — Şir de epiuri *Fig. 4.20* — Curgerea apei în zona unui epiu

Pentru exemplificare în figura 4.21 se prezintă, comparativ, distribuţia vitezelor, calculată şi determinată experimental în secţiunea strangulată de epiu.



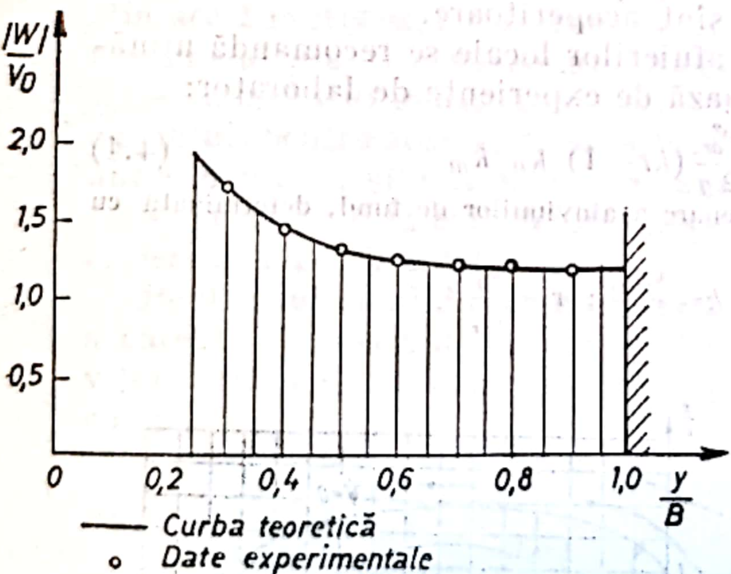


Fig. 4.21 — Repartiţia vitezei curentului în secţiunea $x=0$:

$\left(\frac{C}{B}=0{,}25\right)$ —— curba teoretică; · date experimentale

În figurile 4.22 şi 4.23 sînt prezentate variaţia raportului $k=\frac{v_{max}}{v_0}$ şi a raportului $\frac{d}{c\sin\alpha}$ în funcţie de $c \sin\alpha = c_0$,

unde:

c este lungimea epiului;
α — unghiul de înclinare faţă de direcţia curentului;
d — devierea curentului faţă de capul epiului;
v_{max} — viteza maximă a curentului pe linia AM;
v_0 — viteza curentului în amonte de epiu.

Lungimea l a vîrtejului, măsurată de la capul epiului, pentru cazul în care: $\frac{c_0}{B} \leqslant 0{,}2$ a rezultat (fig. 4.24):

$$\frac{l}{c_0}=\frac{l}{c\sin\alpha}\simeq 7 \div 7{,}3 \qquad (4.3)$$

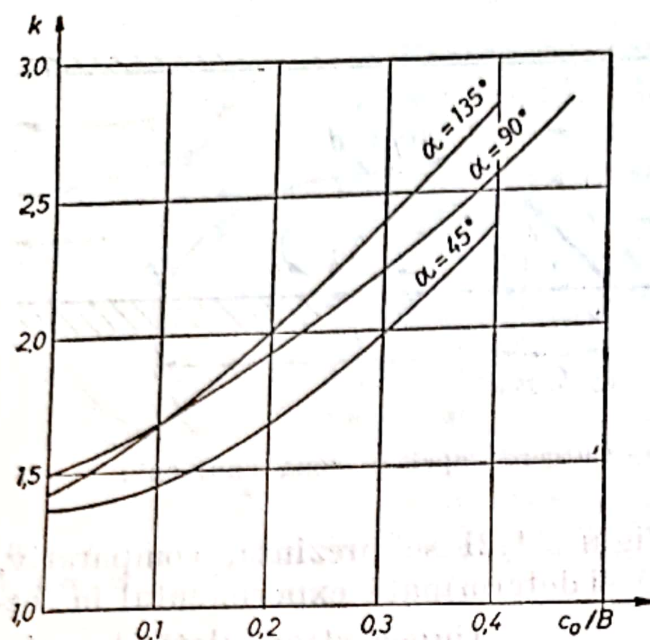


Fig. 4.22 — Variaţia raportului $k=k\left(\alpha, \frac{c_0}{B}\right)$

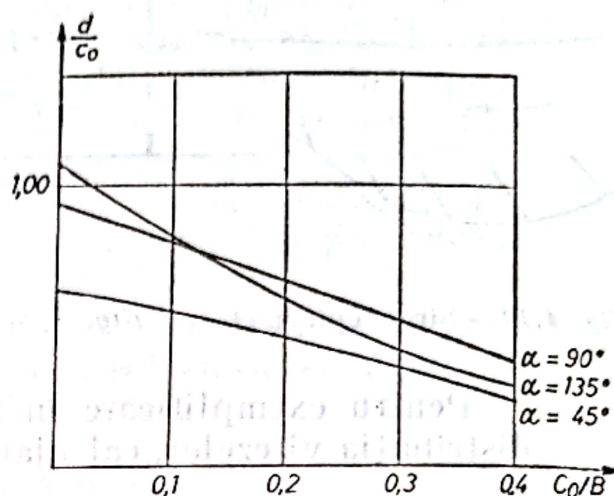


Fig. 4.23 — Variaţia raportului $\frac{d}{c_0}=f\left(\alpha, \frac{c_0}{B}\right)$

Pentru $\frac{c_0}{B}>0{,}3-0{,}4$ este posibil să apară două sau mai multe vîrtejuri în aval. Experienţele efectuate în laborator [17] au arătat că adîncimea maximă h_{af} a afuierilor locale nu este influenţată de adîncimea h a curentului, chiar dacă $h_{af}>(0{,}3-0{,}5)\,h$. Calculele efectuate considerînd $h \gg h_{af}$ sînt acoperitoare.

Pentru calculul adîncimii afuierilor locale se recomandă următoarea formulă, obţinută pe bază de experienţe de laborator:

$$h_{af}=15\frac{v_{cr}^2}{2g}(kr-1)\,k_a\,k_m \quad (4.4)$$

unde:

v_{cr} este viteza critică de antrenare a aluviunilor de fund, determinată cu relaţia (2.5);

$$k=\frac{v_{max}}{v_0}\,;\quad r=\frac{v_0}{v_{cr}}$$

k_a — coeficient care ţine seama de variaţia cu unghiul α a pulsaţiilor de viteză (tab. 4.2). Valoarea maximă a raportului r se va considera 1,5. Deci pentru $\frac{v_0}{v_{cr}}>1{,}5$ se va lua $r=1{,}5$.

k_m — coeficient care ţine seama de panta m a taluzului.

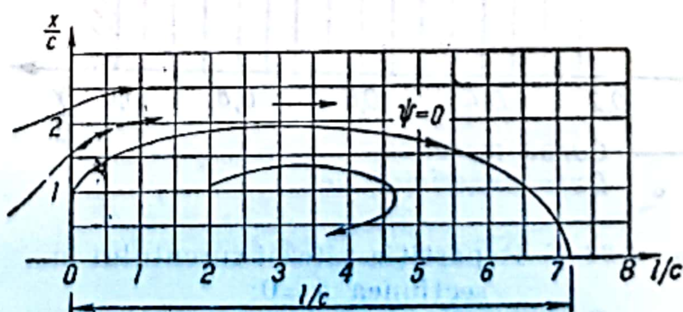


Fig. 4.24 — Linia de separaţie şi lungimea vîrtejului din avalul unui epiu

Tabelul 4.2

Valoarea coeficienţilor k_a şi k_m

Specificaţie α	k_a	m	k_m (după Alturin)
45°	0,90	0,00	1,00
90°	1,0	0,50	0,91
		1,00	0,85
135°	1,10	1,50	0,83
		2,00	0,61
		3,00	0,50

Exemplu de calcul. Se cere să se determine adîncimea afuierilor locale în albia unui rîu la capul epiului, cunoscîndu-se: $v_0=2{,}8$ m/s, $d_{90}=20$ mm, $h=3$ m, $B=40$ m, $c=8$ m, $\alpha=70°$, $m=1{,}5$.

Cu formula (2.5) determinăm viteza critică de antrenare $v_{cr}=1{,}31$ m/s.

Din graficul din figura 4.19 rezultă $k=1{,}85$, iar din tabelul 4.2, $k_a=0{,}96$ şi $k_m=0{,}83$. Întrucît $\frac{v_0}{v_{cr}}>1{,}5$, se ia $r=1{,}5$.

Introducînd aceste valori în relaţia (4.4) obţinem:

$$h_{af}=15\cdot 0{,}086\ (1{,}85\cdot 1{,}5-1)\ 0{,}96\cdot 0{,}83\simeq 1{,}80\ \text{m}$$

Diametrul anrocamentelor de la baza epiului se determină cu relaţia (4.1) adoptînd însă valoarea vitezei maxime din graficul din figura 4.19.

În general, epiurile se construiesc submersibil la ape mari. Cota la coronament a epiurilor nu depăşeşte cota malurilor albiei minore. Din acest motiv se iau în considerare două momente de solicitare maximă a epiului şi a patului albiei de către curent:

— momentul în care cota apei este egală cu cota la coronament a epiului; pentru acest moment se fac calcule de alegere a diametrului anrocamentelor şi a adîncimii de afuiere;

— momentul în care debitul deversat peste epiu poate provoca afuieri în albie în aval de epiu.

Pentru cel de al doilea moment se verifică dacă viteza maximă a curentului deversat peste epiu (în regim de fund) nu depăşeşte viteza critică de antrenare. Viteza curentului deversat se calculează cu relaţia:

$$v_d=1{,}15\cdot\varphi\sqrt{2\,g\,\Delta z} \qquad (4.5)$$

unde:

φ este coeficientul de viteză;
Δz — supraînălţarea de nivel maximă în zona epiului;

Pentru Δz se consideră relaţia:

$$\Delta z=\frac{\beta\,v_0^2}{2\,g} \qquad (4.6)$$

cu $\beta=1{,}0-1{,}2$

Dacă $v_d > v_{cr}$ albia rîului în aval de epiu se consolidează cu o saltea de fascine sau anrocamente pe o lungime $\Delta l = 4{,}5\ p$, p fiind înălţimea epiului.

Pornind de la datele obţinute referitoare la cinematica curgerii în zona unui epiu se pot aproxima elementele de calcul ale epiurilor dispuse în pachete.

Distanţa l_c între epiuri trebuie să fie mai mică decît lungimea l a vîrtejului în aval de epiu, şi anume:

$$l_c = \left(\frac{1}{2} - \frac{2}{3}\right) l \tag{4.7}$$

Viteza maximă a curentului la capul fiecărui epiu în mod acoperitor se determină cu graficul din figura 4.22.

Epiurile orientate spre aval ($\alpha < 90°$) perturbează mai puţin curentul decît epiurile orientate spre amonte ($\alpha < 90°$), însă au un efect mai redus asupra abaterii curentului. În general nu se construiesc epiuri insubmersibile şi orientate în amonte ($\alpha < 90°$).

La un epiu deosebim capul, corpul şi rădăcina. Secţiunea transversală de regulă este trapezoidală. Capul epiului se execută mai îngroşat decît corpul (fig. 4.25).

Rădăcina epiurilor se încastrează în mal pe o lungme de cca. 5 m, iar malul se consolidează de o parte şi de alta a epiului pe

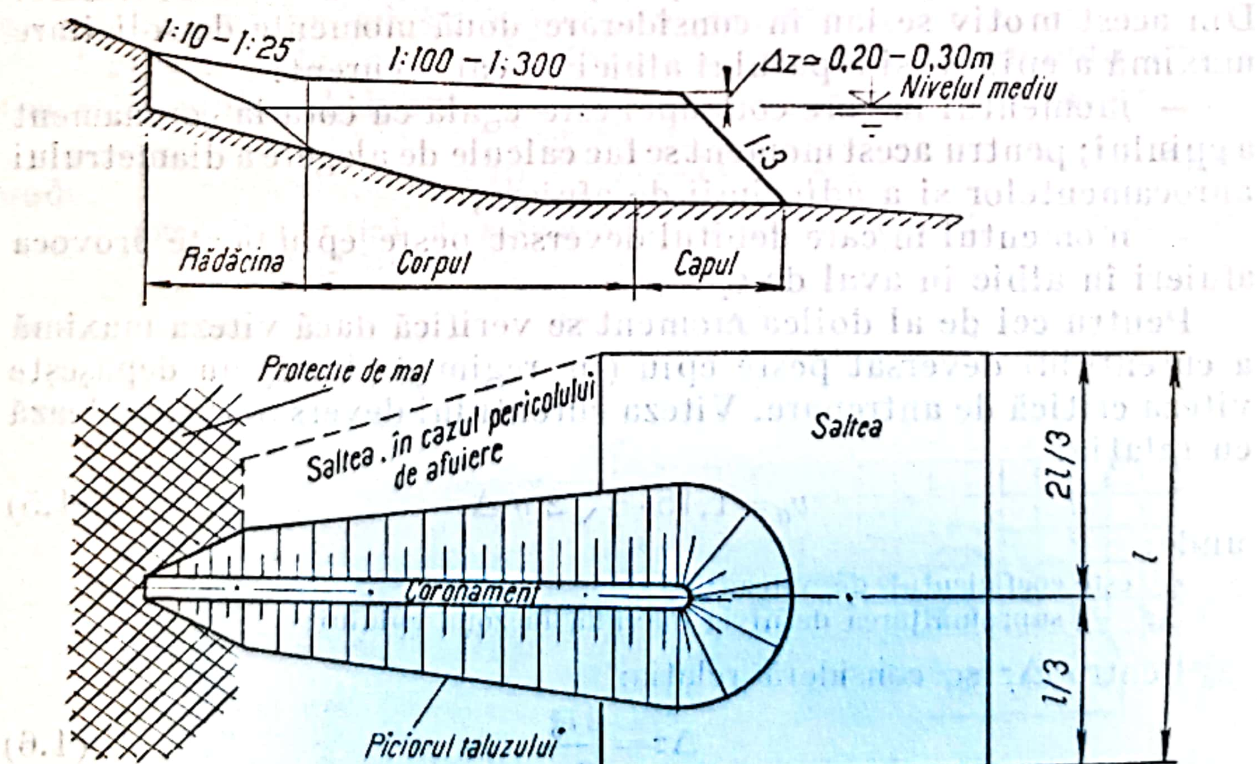


Fig. 4.25 — **Epiu submersibil**

cca. 10 m în amonte şi în aval. Consolidarea este necesară în special pe malul concav.

În funcţie de materialul avut la dispoziţie şi de caracteristicile hidrologice şi morfologice ale rîului, pe rîurile mici epiurile pot fi executate din garduri de nuiele, simple sau duble, îmbrăcate în anrocamente, din anrocamente aşezate pe o saltea de fascine, din căsoaie aşezate pe un pat de nuiele sau fascine, din anrocamente şi blocuri din beton pe o saltea de fascine, din gabioane pe o saltea din gabioane. În figura 4.26 se prezintă secţiuni prin cîteva tipuri de epiu.

La baza epiului în zona capului se prevede o saltea de fascine, iar în cazul în care există pericolul spălării epiului prin deversare, salteaua se continuă pe toată lungimea epiului pe partea aval de acesta — relaţia (4.5).

4.2.4. Praguri de fund

Pragurile de fund sînt construcţii cu ajutorul cărora se limitează afuierile pe adîncime în albie, realizîndu-se un anumit profil longitudinal al patului, stabilizat la cote impuse.

În aliniament pragurile de fund se construiesc perpendicular pe direcţia curentului; în curbe pragurile de fund se construiesc uşor înclinate pentru a dirija firele de curent spre malul convex (fig. 4.27). Unghiul de înclinare al axului pragului faţă de tangenta la curbă se admite de ordinul a 20°—30°.

În general, înălţimea pragurilor de fund este mică, de ordinul a (0,1—0,2) h, unde h este adîncimea albiei minore; numai la rîurile cu debit solid tîrît important, pragurile de fund se pot executa cu o înălţime mai mare. Uneori pragurile de fund se execută îngropate şi au rolul de a preveni o eventuală coborîre a patului albiei.

Pragurile de fund se dimensionează la acea valoare a debitului deversat care solicită la maximum atît pragul, cît şi albia rîului. Regimul de curgere a apei peste prag poate fi de fund sau de suprafaţă. Criteriile de diferenţiere a acestor regimuri şi metodica de calcul se găsesc expuse în lucrări de specialitate, [38], [42], [8].

În figura (4.28) se prezintă secţiuni prin cîteva tipuri de prag de fund, mai des întîlnite.

Distanţa între praguri se determină în funcţie de profilul longitudinal al patului albiei care urmează a fi realizat şi de afuierile probabile în aval de prag.

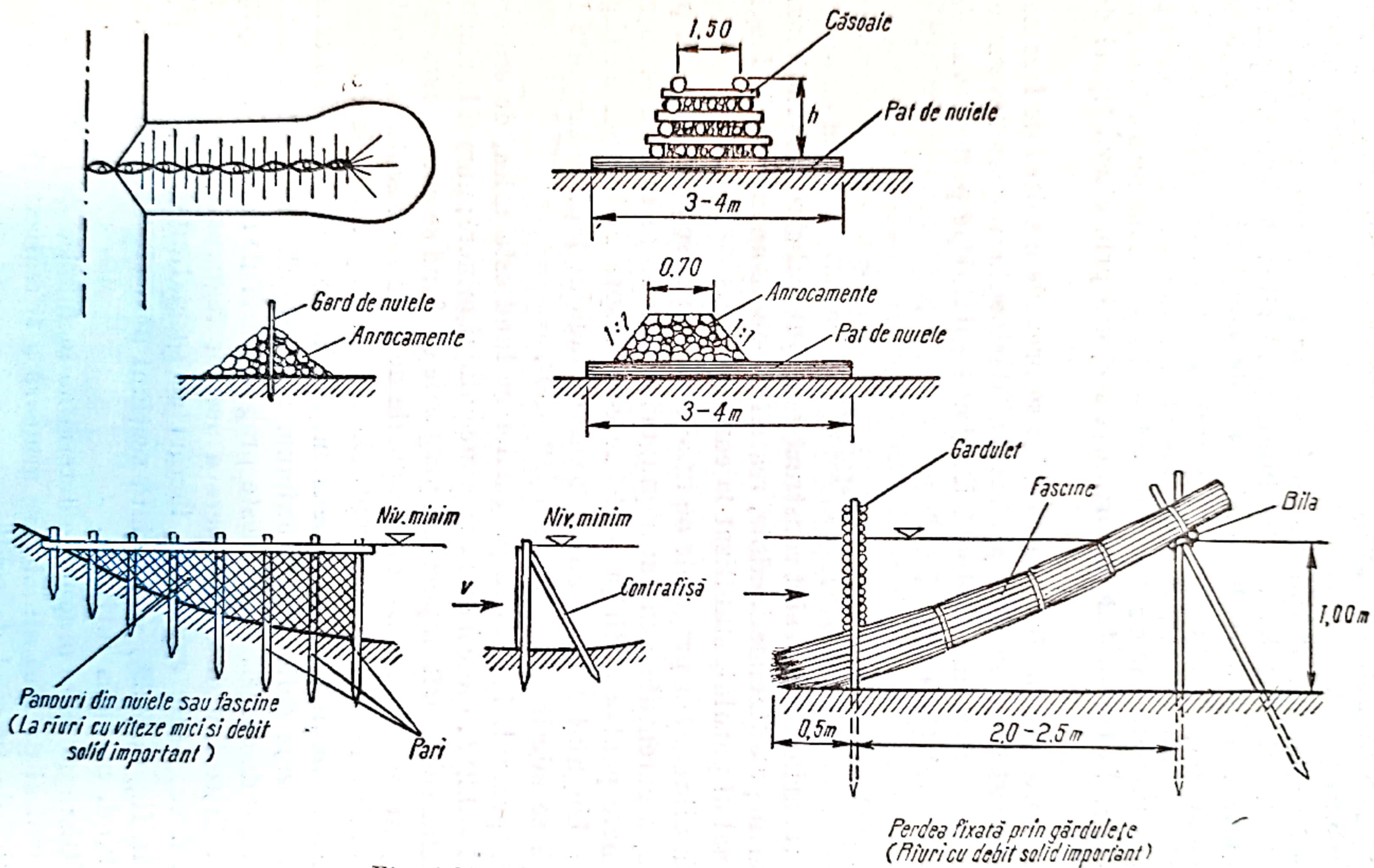


Fig. 4.26 — Secţiuni prin cîteva tipuri de epiu

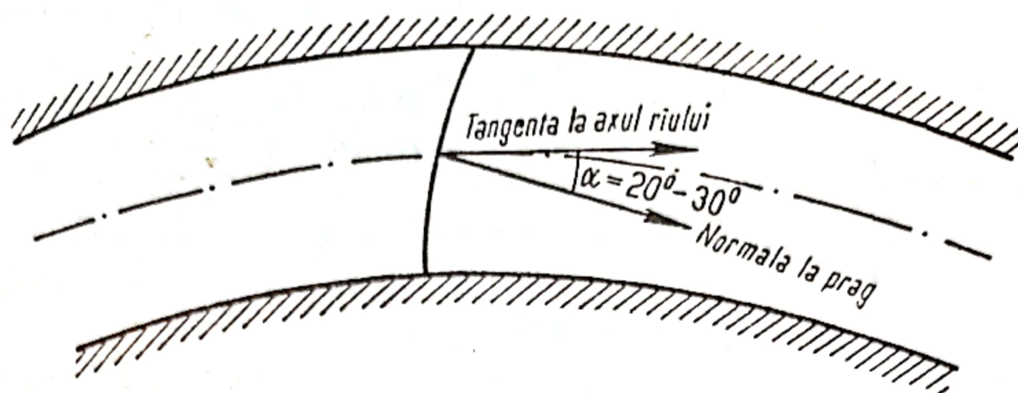


Fig. 4.27 — Prag de fund amplasat în curbă

4.2.5. Tăieri de coturi (străpungeri)

Tăierile de coturi (străpungerile) se execută în cazurile în care albiile rîurilor sînt foarte sinuoase, iar evoluţia ulterioară a albiei poate crea un pericol pentru obiectivele din zonă (poduri, captări, localităţi, căi de comunicaţie, terenuri agricole etc.).

Tăierile de coturi trebuie efectuate cu multă atenţie, întrucît produc modificări importante în regimul de curgere al rîului, în special în ceea ce priveşte procesele morfologice. Prin tăierea unui cot, lungimea traseului albiei se scurtează de la *BCD* la *BD* (fig. 4.29), panta curgerii creşte, iar afuierile din sectorul *BD* se extind şi în sectorul *AB*. În sectorul *DE* capacitatea de transport solid a curentului fiind limitată la cea corespunzătoare regimului iniţial,

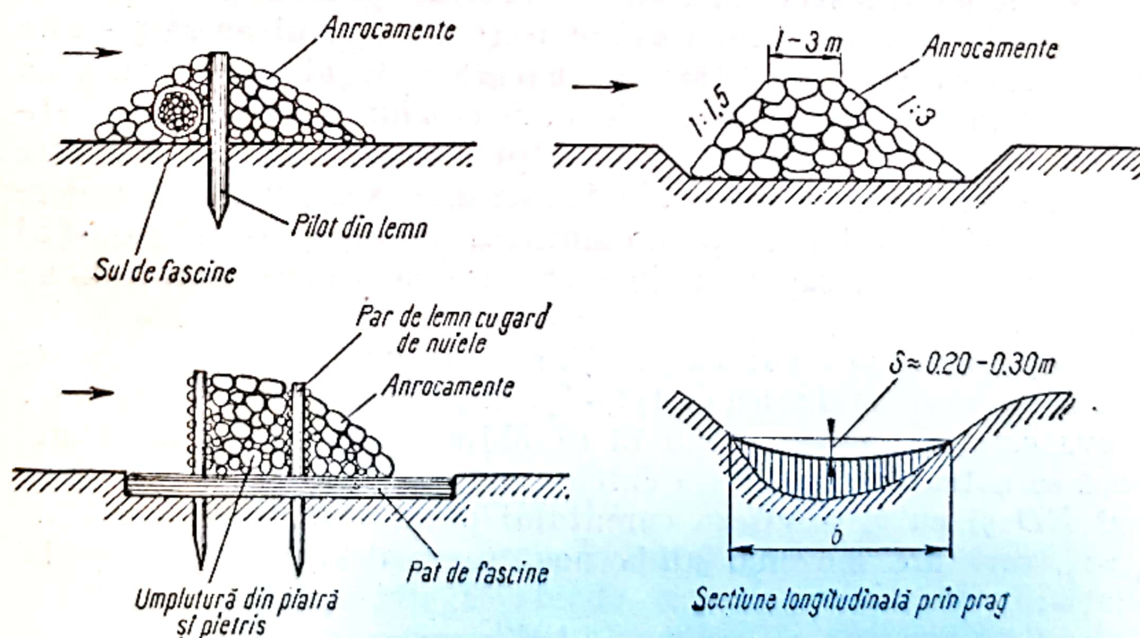


Fig. 4.28 — Secţiuni prin cîteva tipuri de prag de fund

parte din aluviunile antrenate de pe sectorul ABD se depun, provocînd o ridicare a patului albiei. Modificarea profilului longitudinal pe sectorul DE poate provoca formarea unei noi meandre, albia rîului tinzînd către o anumită stare de echilibru dinamic.

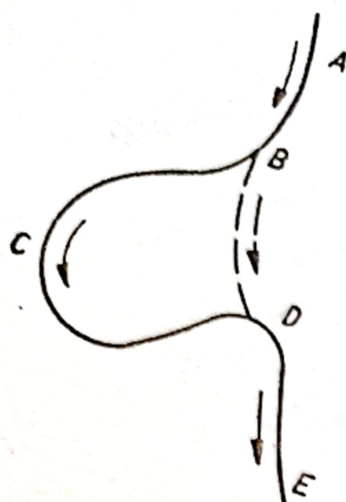


Fig. 4.29 — Schema de tăiere a unui cot

La tăierile de coturi trebuie rezolvate două probleme principale:

— problema noului traseu al albiei, şi

— problema secţiunii transversale a albiei nou create.

Noul traseu trebuie ales ţinînd seama de recomandările cu caracter hidraulic care s-au făcut în paragraful 4.1. şi de unele condiţii care nu sînt de ordin hidraulic, de exemplu, alegerea unui traseu cu volum mic de săpături, menţinerea unor puncte obligate pe traseul albiei ş.a. Problema se rezolvă de la caz la caz. În general se urmăreşte ca şi noua albie să aibă o uşoară curbură şi să fie racordată la albia existentă.

Dacă se notează cu Δl scurtarea traseului albiei, prin tăierea cotului BCD, cu i — panta medie a curgerii pe traseul BCD, adîncimea afuierilor h_{af}, datorită coborîrii patului albiei în punctul B, poate să ajungă pînă la valoarea maximă:

$$h_{af}=i\Delta l \tag{4.8}$$

Secţiunea transversală a albiei nou create poate fi de la început realizată la mărimea albiei existente (cînd în aval nu se permite transportarea unor cantităţi suplimentare de aluviuni sau cînd curentul nu are capacitate suficientă de eroziune) sau poate fi realizată la o mărime minimă, urmînd ca prin autodragaj să se dezvolte pînă la valoarea de echilibru. Mai mult interes din punct de vedere economic şi în acelaşi timp mai multe dificultăţi prezintă cel de al doilea procedeu de săpare a albiei (realizarea unei secţiuni minime iniţiale).

Din experienţă rezultă că secţiunea minimă a albiei străpunse nu trebuie să fie mai mică de 1/3—1/4 din secţiunea albiei naturale. Cîteva date hidraulice permit să se obţină indicaţii suplimentare. Dacă se notează cu v_1 viteza curentului în albia străpunsă de traseul BD şi cu v_2 — viteza curentului pe traseul BCD, condiţia $v_1>v_2$, care are loc cînd albia nouă se va dezvolta, conduce la relaţia:

$$\frac{R_1}{R_2}>\left(\frac{l_1}{l_2}\right)^{3/4} \tag{4.9}$$

unde:

R_1 şi R_2 sînt razele hidraulice;
l_1 şi l_2 — lungimile celor două trasee BD şi BCD.

O altă condiţie necesară este ca efortul critic de tîrîre τ_{cr} (cap. 2) să fie mai mic decît efortul de frecare γ_{hi} pe traseul BD:

$$\gamma h i > \tau_{cr} \tag{4.10}$$

la debite lichide la care pe traseul AB curentul nu transportă aluviuni.

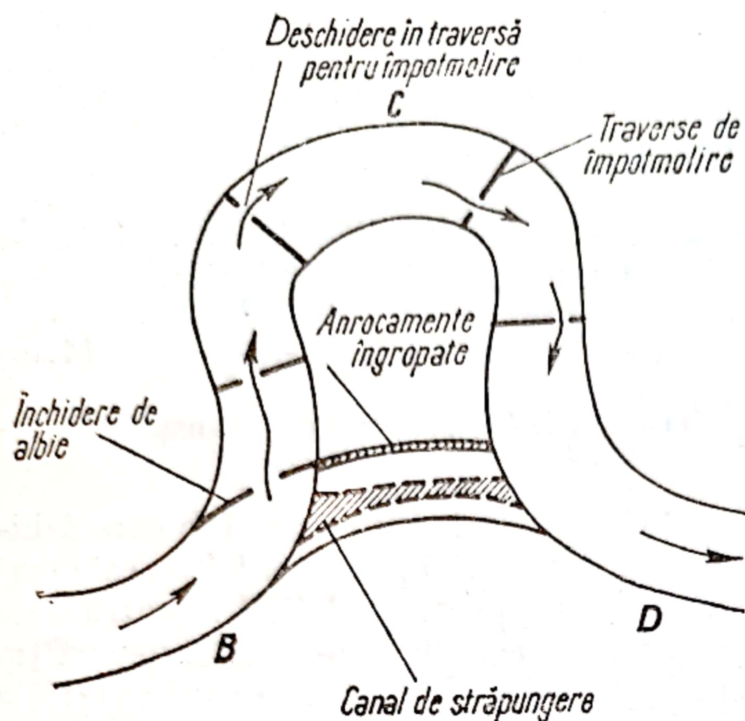
Siguranţa dezvoltării noului braţ se obţine în cazul în care debitul solid tîrît, calculat cu elementele albiei pe traseul BD, este mai mare decît debitul solid tîrît calculat pe traseul BCD. Pentru efectuarea acestui calcul trebuie să se calculeze mai întîi repartiţia debitelor lichide pe noul şi vechiul traseu şi apoi să se aplice relaţia lui Meyer-Peter (cap. 2).

Pentru a ajuta dezvoltarea albiei pe traseul BD şi împotmolirea albiei pe traseul BCD, lucrările de străpungere sînt însoţite de lucrări submersibile de închidere a braţului BCD (praguri de fund) şi lucrări de dirijare a curenţilor pe braţul BD, lăsînd o deschidere pentru împotmolirea vechiului braţ (fig. 4.30). Deschiderea este protejată cu suluri de fascine. Canalul de străpungere se execută pe un traseu mai apropiat de malul convex şi cu o evazare la capătul amonte.

4.2.6. Închideri şi traverse

Închiderile de albie şi traversele au rolul de a închide braţele secundare ale rîurilor şi de a consolida digurile longitudinale. Fiind lucrări transversale şi submersibile la ape mari, închiderile de albie şi traversele grăbesc procesul de colmatare a albiei în special în cazul rîurilor cu debit solid important. Accelerarea procesului de colmatare a albiei în zona acestor lucrări se obţine prin practicarea unor ferestre în corpul lor sau prin executarea lor pe unele porţiuni la cote submersibile chiar şi la ape medii, asigurînd astfel circulaţia curenţilor, însă cu viteze mici (fig. 4.15, 4.30).

Traversele şi lucrările de închidere a albiei, pot fi executate în acelaşi fel ca şi epiurile. Pe rîurile de şes cu viteze ale curentului de apă $v \leqslant 2$ m/s traversele pot fi garduri de nuiele simple, duble şi triple umplute cu piatră (fig. 4.31).



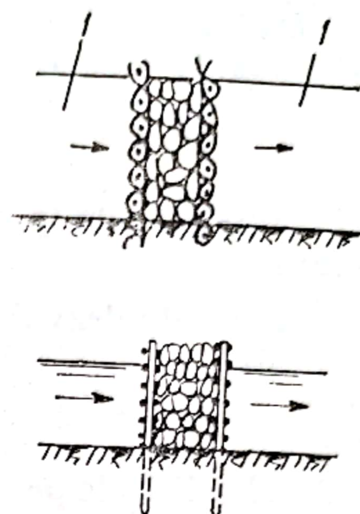


Fig. 4.30 — Tăierea unui cot cu traverse de închidere a albiei vechi

Fig. 4.31 — Închideri de albie cu garduri de nuiele

4.3. Scheme de lucrări de regularizare

4.3.1. Indicații generale la stabilirea schemei lucrărilor de regularizare și îndiguire a albiilor rîurilor

Stabilirea schemei lucrărilor de regularizare și îndiguire a albiilor rîurilor este o operație de înaltă calificare, întrucît necesită experiență și cunoștințe temeinice privind hidraulica și hidrologia rîurilor, în general, și a rîului respectiv, în particular, hidraulica construcțiilor în albii, comportarea diverselor tipuri de construcții, folosirea diverselor materiale de construcție etc. Nu se poate da o rețetă privind schema lucrărilor de regularizare și îndiguire. Trebuie să se țină seama de principiile generale care au fost enunțate privind regularizarea și îndiguirea albiilor, de relațiile care caracterizează interacțiunea între curentul de apă, albia rîului și construcțiile din albie și, în mod deosebit, de condițiile locale și de specificul rîului respectiv. În general, lucrările de regularizare a albiilor rîurilor cuprind sectoare lungi de rîu și pot conține aproape toate tipurile de lucrări analizate mai sus: îndiguiri, străpungeri, apărări de mal, diguri longitudinale de consolidare a malurilor, diguri de dirijare a curenților, epiuri, închideri de albie, traverse îngropate în albia majoră etc. (fig. 4.32). De cele mai multe ori se concep și se analizează mai multe variante de scheme de regularizare și îndiguire a albiei unui rîu pe un sector dat; varianta care se adoptă

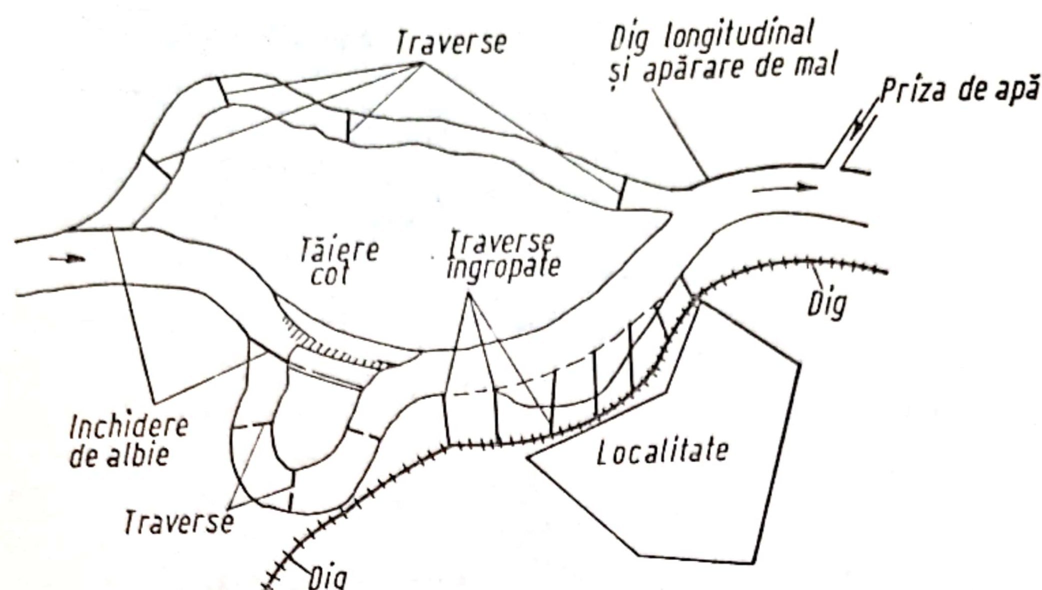


Fig. 4.32 — Schema de regularizare a albiei unui rîu

trebuie să răspundă optim la condițiile tehnice și economice care se impun.

În general, în cazul unor sectoare de rîu în afara centrelor populate, unde ne interesează numai fixarea traseului albiei minore, se pot folosi epiuri, traverse, închideri, lucrări elastice, fără să fie necesar să se asigure o linie continuă a malurilor. În cazul, unor sectoare de rîu în centre populate lucrările de regularizare constau, în general, din lucrări de calibrare a secțiunii albiei, rîul luînd forma unui canal cu maluri fixe consolidate (diguri longitudinale de consolidare a malurilor, diguri și ziduri de sprijin insubmersibile, praguri pentru stabilizarea fundului albiei etc.).

Lucrările de regularizare a albiei minore și de îndiguire a albiei majore formează un complex unitar. Prin lucrări de regularizare a albiei minore se mărește capacitatea de transport a acesteia. În limitele pe care le permit relațiile morfometrice și ținînd seama de amenajările din bazinul hidrografic din amonte (acumulări, combaterea eroziunilor de adîncime și de suprafață pe versanți ș. a.), precum și de posibilitățile de racordare la sectorul de albie din aval, se adîncește albia pe sectorul regularizat, se rectifică panta fundului, se mărește secțiunea de curgere, conform recomandărilor din capitolul 3 și din paragrafele 4.1 și 4.2 ale acestui capitol (fig. 4.33).

Adîncimea albiei și creșterea secțiunii de curgere poate să constituie o soluție foarte atrăgătoare, în special pe sectoare de rîu unde se prevăd lucrări de combatere a inundațiilor prin îndiguire, mărirea debușeului unor poduri existente etc. Problema trebuie analizată cu mare răspundere, avînd în vedere faptul că o creștere exagerată a secțiunii de curgere prin albia minoră, fără lucrări în bazi-

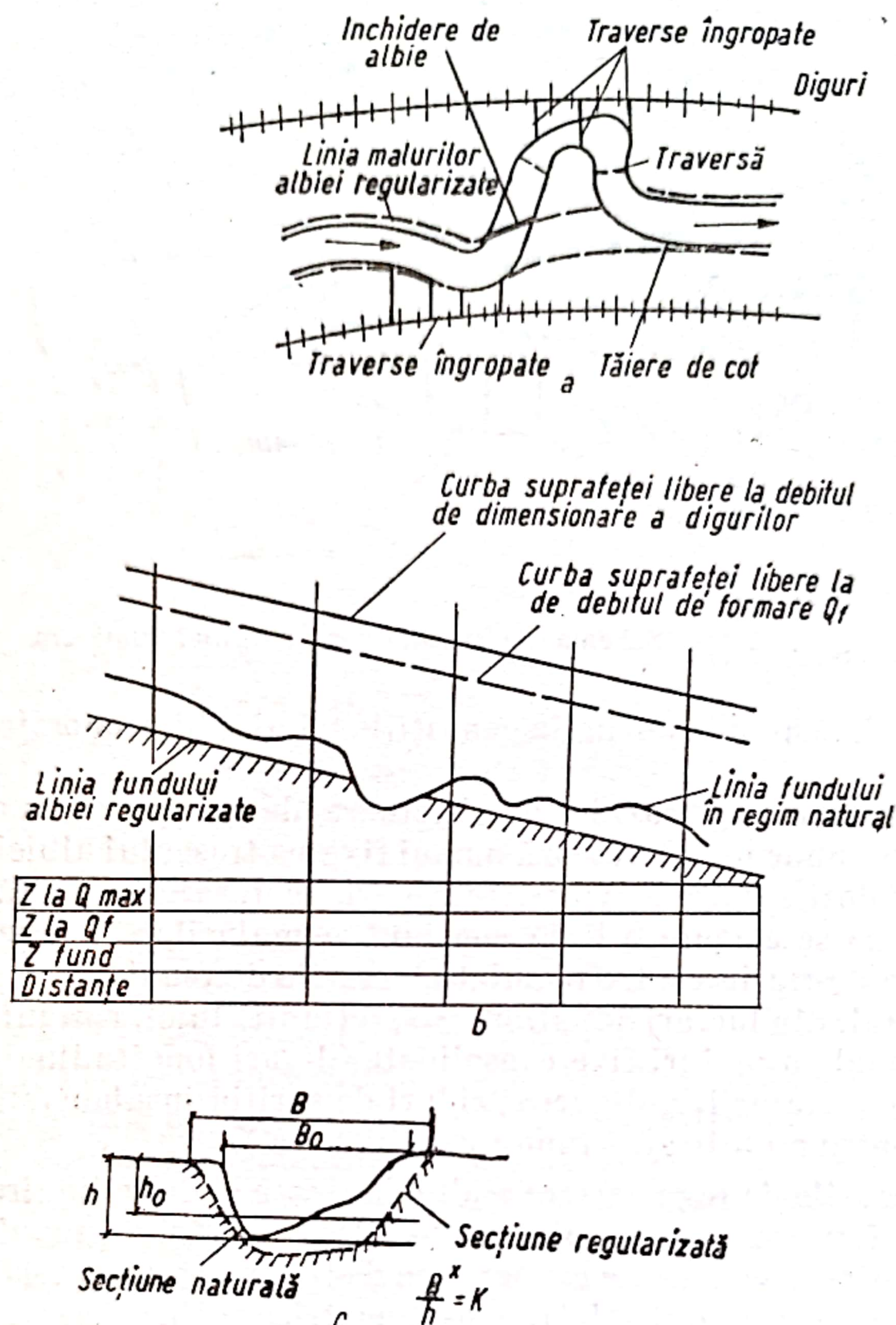


Fig. 4.33 — **Adîncirea și lărgirea albiei în cazul reținerii aluviunilor în amonte**

nul hidrografic amonte de reducere corespunzătoare a debitului solid, poate să conducă la împotmolirea albiei regularizate și la lucrări foarte costisitoare de întreținere care practic nu se pot realiza. O indicație asupra secțiunii de echilibru morfologic o dă graficul din figura 4.3.

Digurile se pot apropia de albia minoră, *dar cu realizarea lucrărilor corespunzătoare de consolidare a taluzului dinspre apă, a albiei majore din zona dig-mal (cu traverse îngropate sau cu protecție continuă), precum și a malurilor albiei minore.*

4.3.2. Lucrări de regularizare a albiilor rîurilor în zona podurilor [24]

La regularizarea albiilor rîurilor în zona podurilor trebuie rezolvate următoarele probleme:

— realizarea unui acces al apei în secţiunea podului cît mai apropiat de normala la axa podului şi a unei repartiţii de viteze în secţiunea podului cît mai uniforme; utilizarea în acest fel la capacitatea maximă de evacuare a tuturor deschiderilor podului;

— asigurarea debuşeului podului, la debite maxime cu asigurare de calcul şi cu asigurare de verificare, cu înălţimi de liberă trecere admisibile şi cu supraînălţări de nivel acceptabile;

— obţinerea unor afuieri generale şi unor afuieri locale acceptabile din punct de vedere al stabilităţii albiei şi al siguranţei construcţiei podului.

Rezolvarea acestor probleme are caracter de dimensionare la podurile noi care se proiectează şi caracter de verificare sau de redimensionare la podurile existente. În cele ce urmează se expune pe scurt modul cum se rezolvă fiecare problemă, avînd în vedere importanţa pe care o prezintă dimensionarea corectă a lucrărilor de regularizare şi de îndiguire a albiilor rîurilor în zona podurilor, importanţă evidenţiată în special în timpul inundaţiilor produse în ultimii ani pe rîurile din ţara noastră. Pe unele rîuri inundaţiile au fost agravate tocmai datorită unor poduri subdimensionate.

— *Realizarea unui acces corespunzător al curenţilor în secţiunea podului şi folosirea maximală a capacităţii de evacuare a podului*. Accesul normal al curenţilor la axul podului se realizează prin *amplasarea podului perpendicular pe traseul albiei*, pe un sector în aliniament al albiei rîului sau prin *crearea unui traseu al albiei minore* a rîului normal pe axul podului. Totodată se urmăreşte ca şi curenţii din albia majoră a rîului să fie dirijaţi normal la axul podului cu ajutorul unor diguri de dirijare (fig. 4.34).

Digurile de dirijare sînt de obicei de formă eliptică în partea amonte a podului, cu axa mare normală pe axul podului (fig. 4.35). Raportul $\frac{a}{b}$ dintre axa mare şi axa mică a elipsei digurilor de dirijare este funcţie de raportul între debitul Q_c aferent albiei barate de rampele de acces la pod şi debitul total Q al albiei în secţiunea podului (tab. 4.3).

În partea aval de pod digurile de dirijare sînt uşor evazate, astfel încît să nu se producă desprinderea curenţilor şi formarea de vîrtejuri.

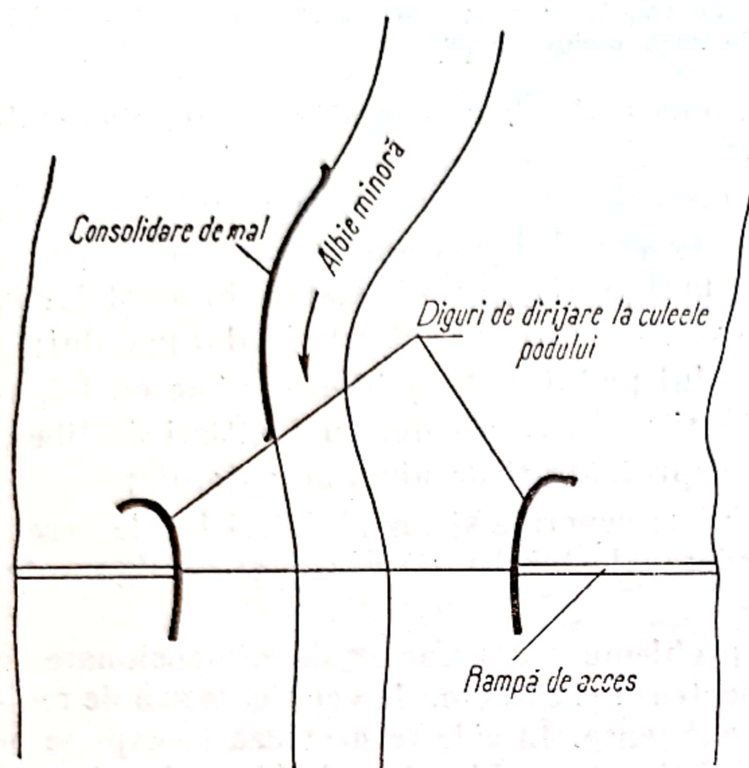


Fig. 4.34 — Schema lucrărilor de regularizare la un pod

În funcție de condițiile locale se pot concepe și alte forme de diguri de dirijare, de exemplu, diguri de dirijare racordate la rampele cu acces oblic, diguri de dirijare racordate la digurile de apărare (fig. 4.36).

În cazul digurilor de dirijare de formă eliptică, dimensionate conform tabelului 4.3, viteza maximă a curentului se realizează în secțiunea podului și are valoarea $v_{max} = 1{,}0-1{,}2 \frac{Q}{\omega'_m + \omega'_M}$. În funcție de această valoare se determină adîncimea maximă a afuierilor locale.

Tabelul 4.3.

Valoarea raportului $\frac{a}{b}$

$\frac{Q_c}{Q}$	0,10	0,10+0,20	0,20—0,30	0—0,30
$\frac{a}{b}$	1,5	1,67	1,80	2,0

Albia minoră a rîului în secțiunea podului trebuie să aibă adîncimi apropiate de cele uniforme pe toate deschiderile aferente podului. Albia majoră trebuie să fie curățată de vegetația care mărește rezistența la curgerea apelor mari pe un sector suficient de lung în zona podului (se întîlnesc cazuri cînd parte din deschiderile unor poduri existente sînt înfundate cu vegetație, ceea ce reduce considerabil la ape mari debușeul podurilor și provoacă supraînălțări mari de nivel).

— *Debușeul podului la ape mari; înălțimea de liberă trecere și supraînălțările de nivel create de pod.* Prin bararea albiei de către rampele de acces la pod, același debit Q este silit să curgă printr-o secțiune mai mică și din acest motiv se produce o supraînălțare Δz a nivelului apei în amonte de pod.

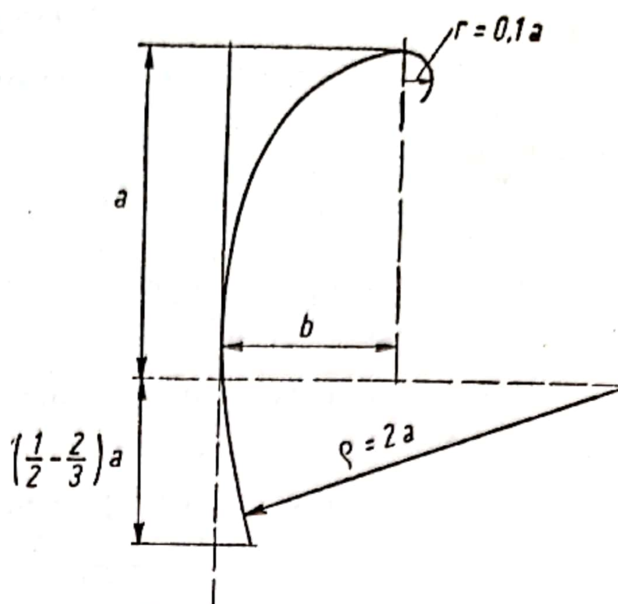


Fig. 4,35 — Dig de dirijare de formă eliptică

Se introduc următoarele notații referitoare la mărimile care caracterizează curgerea apei în zona podului:

— în ipoteza că podul nu există:

Q_m — debitul corespunzător albiei minore; Q_M — debitul corespunzător albiei majore ($Q=Q_m+Q_M$); ω_m — aria secțiunii albiei minore; ω_M — aria secțiunii albiei majore; h_m, B_m — adîncimea medie și lățimea albiei minore; h_M, B_M — adîncimea medie și lățimea albiei majore.

— în ipoteza că podul există:

Q'_m — debitul corespunzător albiei minore; Q'_M — debitul coresdunzător albiei majore sub pod ($Q=Q'_m+Q'_M$; $Q'_m>Q'_m$); ω'_m — aria secțiunii albiei minore sub pod; ω'_M — aria secțiunii albiei majore sub pod (din care a fost scăzută aria ocupată de pilele podului și de zonele de vîrtejuri datorate contracției curentului, de exemplu, $\omega_m=\omega'_m+n\,[b+\lambda\,(1-\varepsilon)]$,

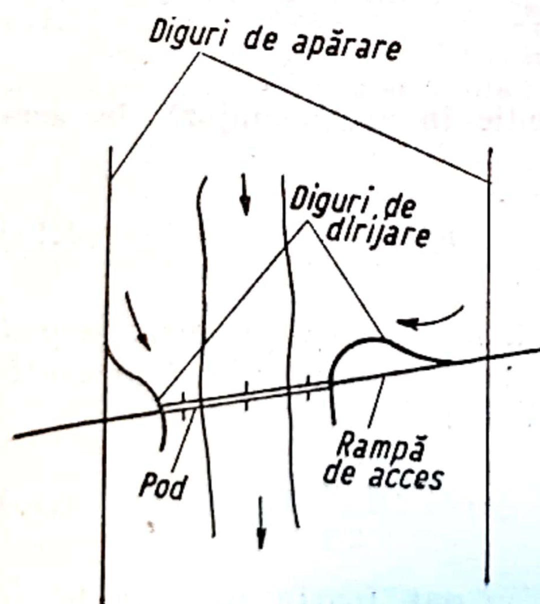


Fig. 4.36 — Diguri de dirijare adaptate condițiilor locale

unde:

- n — numărul pilelor în albia minoră;
- b — lățimea pilei;
- λ — deschiderea între două pile consecutive;
- ε — coeficientul de contracție la pilele podului (tab. 4.4., fig. 4.37).

Tabelul 4.4

Coeficientul de contracție la pile ε

Viteza v m/s	Deschiderea în m						
	10	20	30	40	50	100	125
1,50	0,95	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00
2,00	0,93	0,97	0,98	0,98	0,99	1,00	1,00
3,00	0,89	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
4,00	0,85	0,93	0,95	0,96	0,97	0,99	0,99

Dacă Q_c este debitul corespunzător albiei barate pe rampele de acces, avem:

$$Q'_m = Q_m + Q_c \frac{\omega'_m}{\omega'_m + \omega'_M} \quad (4.11)$$

$$Q'_M = Q - Q'_m \quad (4.12)$$

Viteza medie a curentului în albia minoră, în ipoteza că afuierile nu s-au produs, rezultă:

$$v'_m = \frac{Q'_m}{\omega'_m} \quad (4.13)$$

iar viteza medie în albia majoră în aceleași condiții:

$$v'_M = \frac{Q'_M}{\omega'_M} \quad (4.14)$$

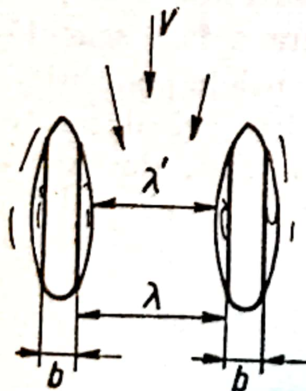


Fig. 4.37 — Contracția la pilele podului

Supraînălțările de nivel produse de pod (în ipoteza că afuierile nu s-au produs) se calculează cu relația:

$$\Delta z = \frac{v_m'^2 - v_m^2}{2g} \quad (4.15)$$

La rîurile cu pat foarte ușor erodabil, pentru calculul supraînălțărilor de nivel se poate admite că s-au produs cel mult 1/3

din afuierile generale şi în loc de ω'_m se introduce $\omega'_m + \frac{1}{3}\Delta\omega_m$,

unde:

$\Delta\omega_m$ este creşterea secţiunii de curgere prin albia minoră datorită afuierilor generale.

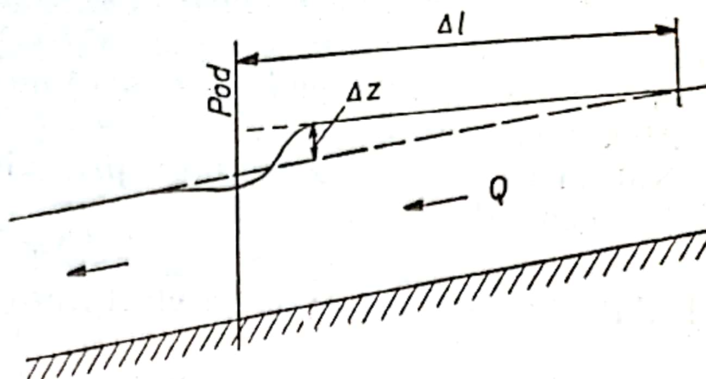


Fig. 4.38 — Supraînălţarea de nivel Δz la poduri

Supraînălţarea de nivel maximă (Δz) are loc puţin în amonte de pod, dar în practică se consideră că nivelul maxim se produce imediat amonte de pod (fig. 4.38).

Lungimea Δl pe care se stinge remuul se admite:

$$\Delta l = \frac{2\,\Delta z}{i} \tag{4.16}$$

unde:

i este panta medie în ipoteza că podul n-ar exista.

Înălţimea de liberă trecere sub pod $\Delta h(m)$ (diferenţa între cota celui mai de jos element al suprastructurii podului şi cota apelor la debitul de calcul sau de verificare) se determină în secţiunea podului, adică acolo unde încă nu se simte influenţa remuului (Δz) şi are valorile din tabelul 4.5.

Tabelul 4.5

Înălţimea de liberă trecere sub pod Δh (m)

Felul podului	La debitul de calcul		La debitul de verificare
	Cale ferată	Drumuri	
Poduri pe grinzi (rîul transportă plutitori)	1,50	1,00	0,25
Poduri pe grinzi (rîul nu transportă plutitori)	1,00	0,75	0,00
Poduri boltite (sub cheia bolţii)	1,25 sau $\Delta h \geq \frac{f}{2}$	1,25 sau $\Delta h \geq \frac{f}{2}$	0,50 sau $\Delta h \geq \frac{f}{3}$

— *Afuierile generale și afuierile locale în albie în secțiunea podului.* Afuierile generale în albia minoră în secțiunea podului se produc atît pe adîncime, cît și pe lățime, dacă nu sînt limitate de terenuri rezistente la eroziune.

Notînd cu $\omega_{m\ a}$ aria secțiunii prin albia minoră în urma afuierilor generale:

$$\omega_{m\ a}=\omega'_m+\Delta\omega_m \qquad (4.17)$$

calculul afuierilor generale se efectuează cu ajutorul relațiilor:

$$\omega_{m\ a}=\omega_m\,\frac{v'_m}{v_m}=\omega_m A \qquad (4.18)$$

unde:

$A=\frac{v'_m}{v_m}$ este coeficientul de afuiere generală, ale cărui valori nu trebuie să depășească 1,35—1,45.

Dacă și malurile și fundul albiei sînt erodabile, rezultă relația morfometrică:

$$\frac{B_m^x}{h_m}=\frac{B_{m\ a}^x}{h_{m\ a}}:$$

$$h_{m\ a}=h_m\,A^{\frac{x}{1+x}}\ ;\ B_{m\ a}=B_m\,A^{\frac{1}{1+x}} \qquad (4.19)$$

unde: $\frac{1}{2}<x<1$, $h_{m\ a}$ și $B_{m\ a}$ — adîncimea medie și lățimea albiei minore după producerea afuierilor generale.

Dacă lungimea podului (L) limitează lățimea albiei minore $B_{m\ a}=L$, adîncimea medie a curentului după producerea afuierilor în albia minoră devine:

$$h_{m\ a}=h_m\,\frac{B_m}{L}\cdot A \qquad (4.10)$$

Cunoscînd adîncimea medie, $h_{m\ a}$, după producerea afuierilor generale, adîncimea maximă, $h_{max\ a}$, în albie se calculează cu relația:

$$h_{max\ a}=h_{max}\cdot\frac{h_{m\ a}}{h_m} \qquad (4.21)$$

Dacă pe adîncime afuierile sînt limitate de straturi greu erodabile, afuierile se dezvoltă numai pe lățimea albiei.

În albia majoră afuierile generale se dezvoltă numai în măsura în care $v'_M>v_{cr}$, unde v_{cr} este viteza critică de antrenare a materialului din albie.

Afuierile generale se calculează cu debitul maxim cu asigurare de calcul, elementele secțiunii considerîndu-se la nivelul corespunzător acestui debit.

Adîncimea afuierilor locale în zona pilelor se calculează cu relaţia autorului propusă în lucrarea [24]:

$$\frac{h_{af}}{b} = 2{,}42\, k\, k_{\alpha} \left(2 \frac{v}{v_{cr}} - 1\right) \left(\frac{v_{cr}^2}{g\, b}\right)^{1/3} \qquad (4.22)$$

unde:

v este viteza medie a curentului;

v_{cr} — viteza critică de antrenare a materialului din albie — relaţia (2.5)

b — lăţimea pilei;

k — coeficientul care ţine seama de forma pilei (pentru pile circulare; $k=1{,}0$, pentru pile dreptunghiulare cu avanbecul ovoidal $k=0{,}8$);

k_{α} — coeficientul care ţine seama de unghiul de atac al curentului (fig. 4.39).

Formula (4.22) este valabilă pentru $v<v_{cr}$. Pentru $v>v_{cr}$ se va folosi formula:

$$\frac{h_{af}}{b} = 2{,}52\, k\, k_{\alpha} \left(\frac{v_{cr}^2}{g\, b}\right)^{1/3} \qquad (4.23)$$

În ambele formule (4.22) şi (4.23) pentru $\frac{h_{af}}{b} < 1$ se va considera: $\frac{h_{af}}{b} \simeq 1$.

Lungimea podului se determină sau se verifică atît din punct de vedere al supraînălţărilor maxime de nivel Δz produse, cît şi din punct de vedere al afuierilor generale.

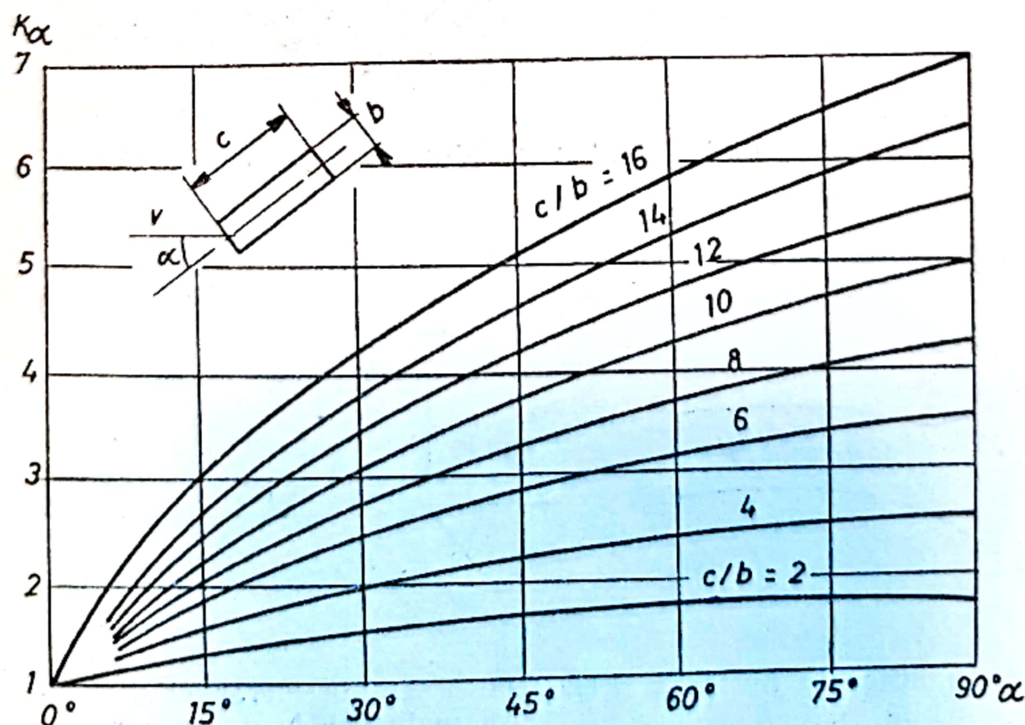


Fig. 4.39 — Valorile coeficientului k

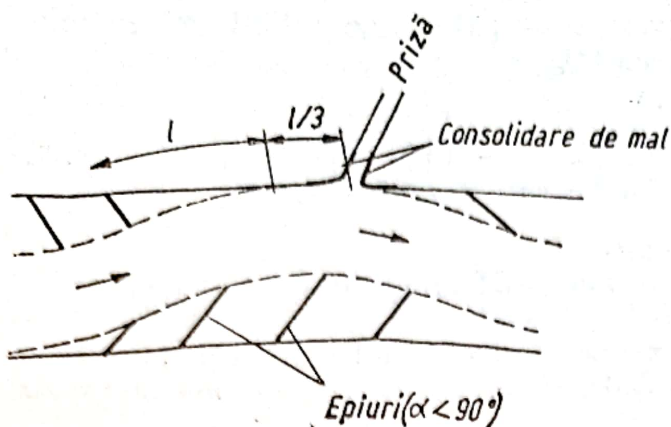


Fig. 4.40 — **Schema lucrărilor de regularizare la captări în curent liber**

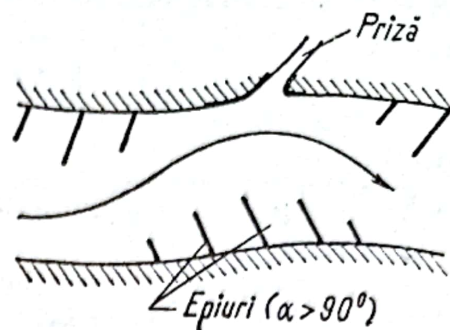


Fig. 4.41 — **Epiuri care perturbă intens curgerea apei în zona prizei**

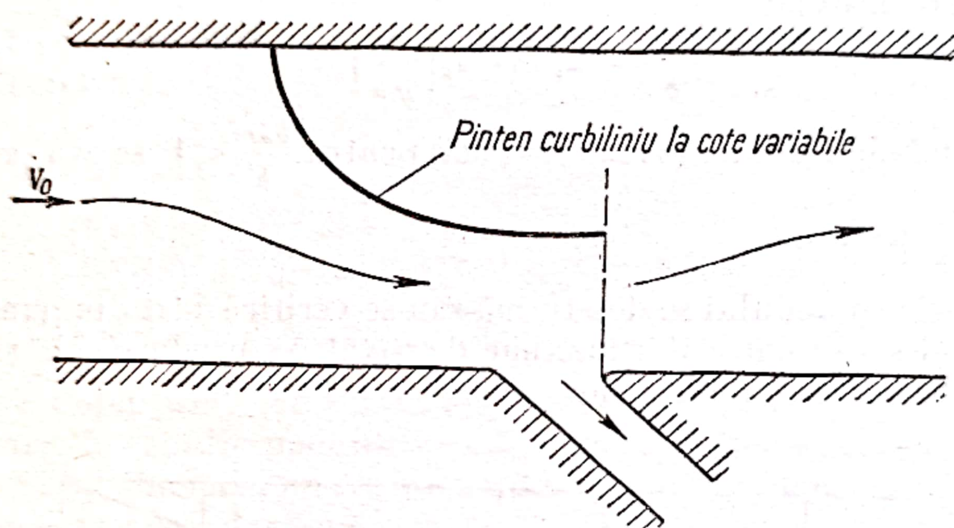


Fig. 4.42 — **Pinten curbiliniu la priză**

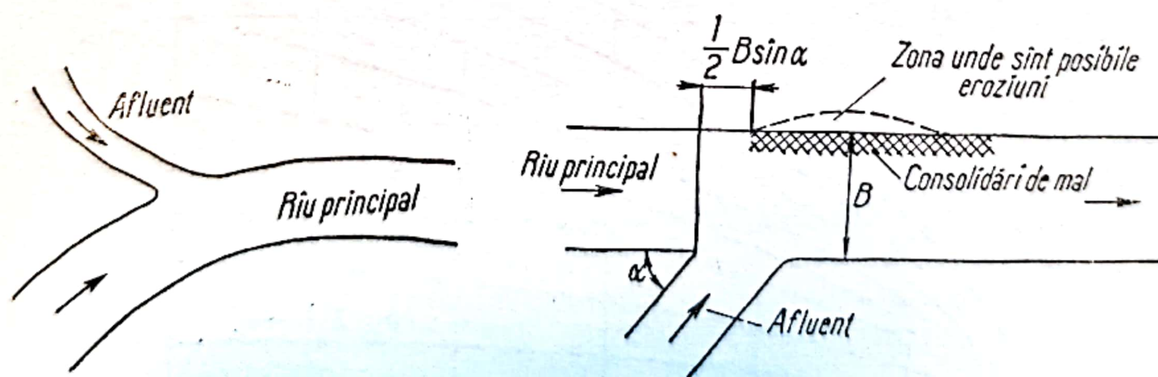


Fig. 4.43 — **Confluență favorabilă**

Fig. 4.44 — **Schema lucrărilor de consolidare a malurilor la o confluență**

4.3.3. Schema lucrărilor de regularizare la captări în curent liber

Lucrările de regularizare la captările în curent liber trebuie să asigure stabilitatea albiei în zona prizei, să conducă la diminuarea volumului de aluviuni în suspensie intrate în priză şi la evitarea celor tîrîte, să asigure, la ape mici pe rîu, niveluri ridicate în albie în zona prizei, suficiente pentru captarea debitului de calcul, să evite intrarea flotorilor, gheţurilor în priză etc.

Pentru realizarea unei circulaţii transversale a apei în albie, favorabile prizei, se creează artificial un traseu sinuos albiei cu ajutorul lucrărilor de regularizare (epiuri, diguri de dirijare) ca în figura 4.40. Priza trebuie să fie situată pe malul concav în aval de capul curbei, la cca. 1/3 din lungimea curbei. Este foarte important ca epiurile din albie să fie înclinate spre aval ($\alpha < 90°$) cu un unghi cît mai mic, pentru a nu turbuliza curenţii la intrarea în priză. Din acest motiv nu se recomandă schema de lucrări din figura 4.41.

Pentru stabilizarea talvegului albiei spre malul pe care este amplasată priza şi pentru asigurarea nivelului necesar captării la ape mici pe rîu, se poate aplica cu foarte bune rezultate o soluţie găsită prin cercetări de laborator[1]. Soluţia constă dintr-un pinten curbiliniu submersibil încastrat în malul opus prizei care dirijează curenţii la ape mici spre malul prizei (fig. 4.42). Pintenul are coronamentul în pantă în aşa fel încît cota cea mai de jos la capătul pintenului să corespundă nivelului minim cu asigurare 80%, iar cota cea mai de sus, la rădăcina pintenului, să corespundă nivelului mediu. O astfel de soluţie s-a aplicat pe rîurile Argeş, Olt, Mureş, Siret etc.

De cele mai multe ori pintenul curbiliniu este însoţit de epiuri în amonte şi în aval pentru stabilizarea curenţilor pe un traseu favorabil. Uneori pentru limitarea adîncimilor în secţiunea prizei se prevăd praguri de fund îngropate.

4.3.4. Schema lucrărilor de regularizare la confluenţe

Lucrările de regularizare la confluenţe trebuie să stabilizeze albiile rîurilor la punctul de confluenţă, să îmbunătăţească curgerea lichidă şi solidă, să evite depunerile de aluviuni şi eroziunile.

Confluenţa cea mai favorabilă este aceea care are loc într-o zonă de concavitate a rîului principal, iar curburile celor două rîuri sînt contrare (fig. 4.43).

Pentru a evita eroziunile pe malul opus, se fac lucrări de consolidare cu pereuri din anrocamente, cu diguri longitudinale sau epiuri (fig. 4.44).

---

[1] Prof. dr. doc. S. Hâncu şi ing. L. Predescu.

5. Materiale și elemente de construcție folosite la lucrările de regularizare a albiilor rîurilor

5.1. Materiale de construcție

Lucrările de îndiguire și regularizare a albiilor rîurilor necesită volume mari de materiale și din acest motiv este indicat să se folosească materiale locale, care să reziste însă la acțiunea de erodare și de dizolvare a curentului de apă, la îngheț-dezgheț, la acțiunea dinamică a sloiurilor de gheață, la variațiile de umiditate etc.

Cele mai folosite materiale sînt: pămîntul, piatra, lemnul, metalul, betonul. Într-un volum redus se folosește și betonul armat, materialele bituminoase ș. a.

Pămîntul se folosește în special la construcția digurilor. La lucrările de regularizare se folosește la umpluturi, ca material auxiliar. Pămîntul vegetal se folosește la acoperirea digurilor pentru inierbarea lor și la îmbrăcarea nuielelor și fascinelor pentru a favoriza lăstărirea acestora.

Piatra se utilizează pe scară largă în lucrările de regularizare (masive de anrocamente, îmbrăcăminți, ca material de încărcare a elementelor executate din material lemnos, ca filtre și straturi de egalizare etc.) și în protecția cu anrocamente a digurilor. Se utilizează piatra de rîu, piatra brută de carieră, piatra spartă, piatra cioplită etc.

Dintre condițiile tehnice pe care trebuie să le satisfacă piatra, pentru lucrările de regularizare a albiilor rîurilor menționăm:

— să reziste la acțiunea înghețului și dezghețului (să nu fie gelivă);

— să reziste la acțiunea agenților agresivi din apă;

— să nu fie solubilă în apă (de ex. trebuie evitat calcarul);

— să aibă o greutate specifică, mai mare de 2 t/m^3;

— să aibă o greutate suficient de mare pentru a rezista la viteza curentului de apă.

Lemnul se utilizează sub formă de nuiele, crengi, arbori, țăruși, pari, bușteni, grinzi, longrine, moaze, cherestea etc., la lucrările de regularizare a albiilor rîurilor.

Lemnul, sub formă de buşteni (cu diametrul de 20—40 cm şi lungimea de 3—15 m) şi grinzi, serveşte la consolidări de maluri, căsoaie, praguri de fund ş.a., în general, în combinaţie cu piatra.

Nuielele (salcie, răchită, plop, anin) care se utilizează la confecţionarea fascinelor, a împletiturilor, a gardurilor şi care trebuie să lăstărească se recoltează toamna sau iarna, cînd au sevă mai puţină, Nuielele trebuie să aibă lungimea mai mare de 2 m şi diametrul la capătul gros de 1—4 cm.

Nuielele şi crengile se păstrează în stive ferite de soare, în care scop se acoperă cu frunze şi crengi pentru a nu se usca.

Metalul întră ca material de construcţie la lucrările de regularizare a albiilor rîurilor sub formă de plasă de sîrmă pentru gabioane, sîrmă de legat snopi de fascine, elemente de prindere (cuie, scoabe, buloane) etc.

Betonul, betonul armat, betonul asfaltic, deşi se întîlnesc în cantităţi relativ reduse, au perspectiva să se folosească din ce în ce mai mult, întrucît înlesnesc mecanizarea executării construcţiilor (turnate monolit sau prefabricate).

5.2. Elemente de construcţie

Snopii şi nuielele de fascine. Snopii sînt mănunchiuri de nuiele, aşezate cu cotoarele într-o singură parte şi legate cu sîrmă arsă (Ø=1,8 mm) (fig. 5.1). Din snopi se construiesc pachetaje, paturi etc.

Fascinele sînt mănunchiuri de nuiele cu cotoarele repartizate către ambele capete, legate cu sîrmă neagră (fig. 5.2) şi se confecţionează la locul de depozitare pe capre de lemn. Fascinele se utilizează în special la saltele de fascine şi la alte elemente de construcţie.

Sulurile de nuiele (*fascine lestate, fascine grele, cilindri de nuiele*). Se confecţionează pe capre joase la locul de punere în operă fiind alcătuite dintr-o cămaşă de nuiele şi umplutură de piatră sau bolovani de rîu (fig. 5.3). Au diametrul de 0,60; 0,80 sau 1,00 m şi lungimea 4—10 m. Cu această lungime sulurile se folosesc pentru închideri de albie sau ca diguri submersibile, epiuri, la astuparea breşelor în diguri etc.

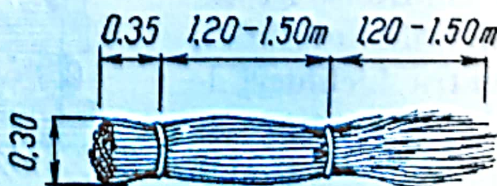


Fig. 5.1 — Snop de nuiele

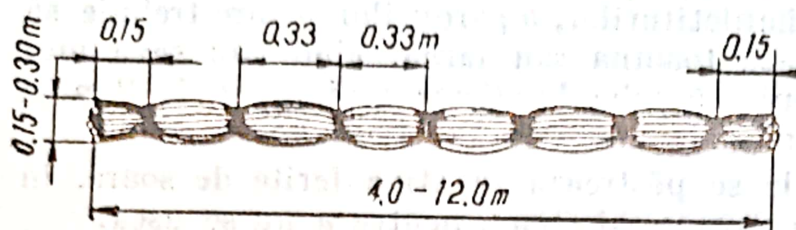


Fig. 5.2 — Fascină de nuiele

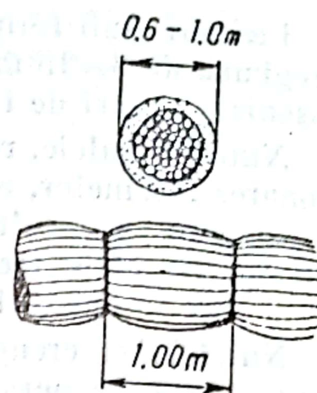


Fig. 5.3 — Sul de nuiele

Cînd se folosesc la apărări de maluri, sulurile pot avea lungimea egală cu lungimea sectorului de apărat.

Pachetaje de fascine și de nuiele. Se pot folosi în cazul rîurilor cu viteze mici ale apei la construcția digurilor de dirijare, a epiurilor. Pachetajele de fascine sau de nuiele constau din straturi de fascine sau snopi de nuiele, fixate cu fascine așezate transversal și cu țăruși și încărcate cu piatră (fig. 5.4.).

Saltea de fascine. Este un element de construcție deosebit de frecvent utilizat la lucrările de regularizare a albiilor rîurilor, drept fundație, pe paturile afuiabile ale albiilnr de rîuri cu scurgerea continuă.

Salteaua de fascine constă dintr-un grătar inferior care se fixează pe fundul albiei, un grătar superior în care se așază piatră de lestare și o umplutură (fig. 5.5.)

Grosimea saltelei de fascine poate fi de 0,45 m; 0,65 m; 0,75 m și 1,00 m; lungimea de 10—20 m, iar lățimea după caz.

Garduri de nuiele. Sînt alcătuite dintr-un rînd de pari de grosime 6—8 cm și înălțime de 0,80—1,50 m, care se bat în pămînt la cca. 0,50 m distanță. În jurul lor se împletesc nuiele care urmează să lăstărească. Se folosesc pe rîuri cu viteze mici ale curentului și cu transport intens de aluviuni, pentru închideri de albie, apărări de maluri ș.a. (figura 5.6).

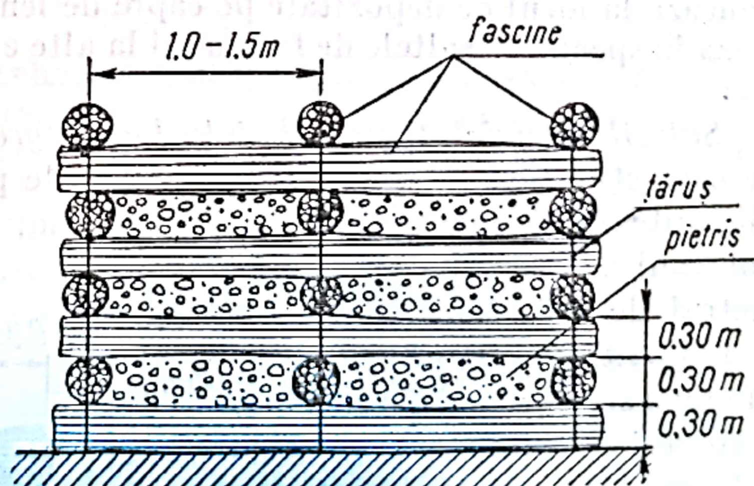


Fig. 5.4 — Pachetaj din fascine

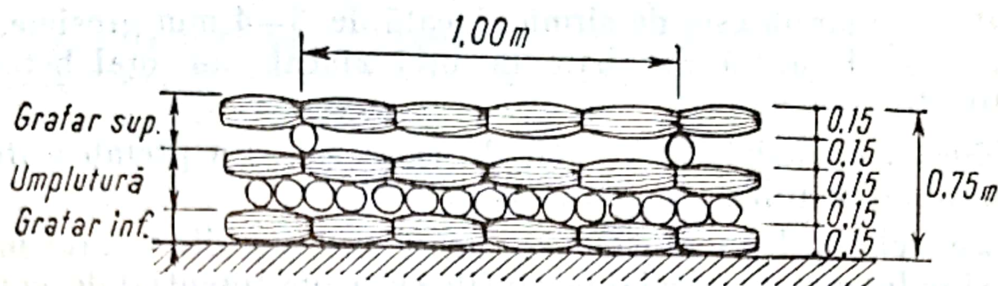


Fig. 5.5 — **Saltea de fascine**

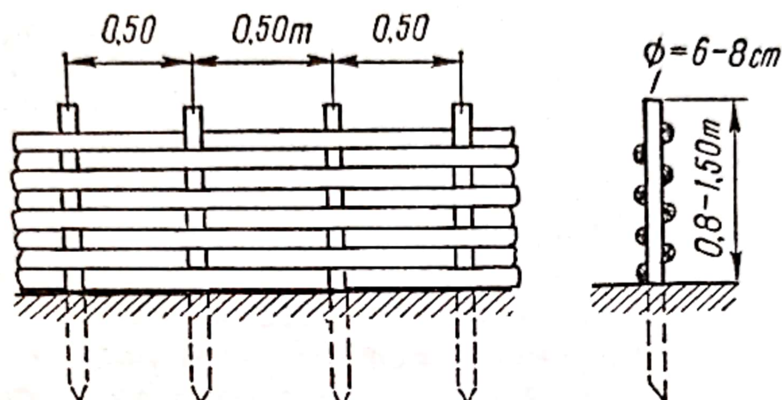


Fig. 5.6 — **Gard de nuiele**

Gabioane. Gabioanele sînt cutii paralelipipedice sau cilindrice din plasă de sîrmă care se umplu cu piatră de rîu de diametru mic și care se folosesc ca elemente de construcție la diguri longitudinale, epiuri, apărări de mal ș.a. unde piatra mare lipsește. Se confecționează gabioane-cutii cu înălțimea de 1,0 m, lățimea de 1,00—1,5 m și lungimea de 3—5 m, gabioane saltele de înălțime 0,40—0,50 m și dimensiuni în plan de 2 ×3 m sau de 3 ×4 m și gabioane-cilindrice cu diametrul pînă la 1 m și lungimea de 4—10 m (fig. 5.7).

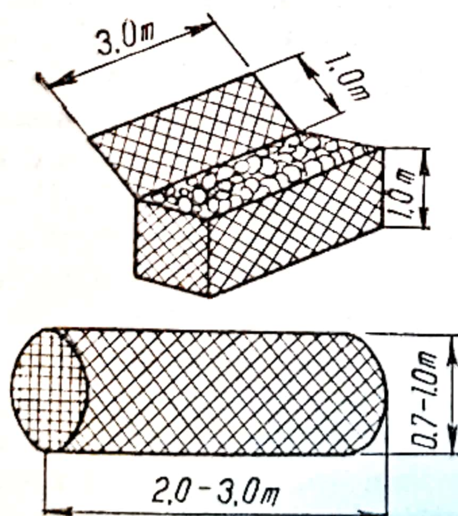


Fig. 5.7 — **Gabioane: cutie și cilindru**

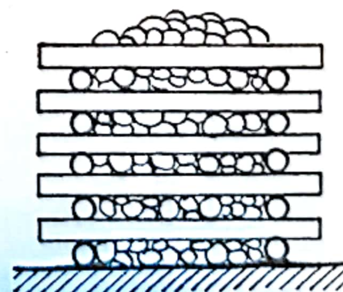


Fig. 5.8 — **Căsoaie din lemn**

Plasa de sîrmă este de sîrmă zincată de 3—4 mm grosime, elementele de legătură din bare de oţel zincat sau oţel beton de Ø=10—18 mm.

Căsoaie. Căsoaiele sînt cutii de lemn sau din prefabricate de beton armat umplute cu piatră (fig. 5.8).

Căsoaiele de lemn se confecţionează în regiunile bogate în păduri şi se folosesc în special pe rîurile cu regim torenţial de curgere şi care transportă aluviuni de diametru mare. Se confecţionează rapid şi se folosesc la apărări de maluri în special.

6. Studii necesare proiectării şi execuţiei lucrărilor de regularizare şi îndiguire a albiilor rîurilor

Pentru proiectarea şi execuţia lucrărilor de îndiguire şi regularizare a albiilor rîurilor sînt necesare, în general, studii topografice, studii geotehnice, studii hidrologice şi studii hidraulice. Volumul şi gradul de aprofundare al acestor studii depind de amploarea şi dificultatea problemelor pe care le ridică lucrările de regularizare pe sectorul respectiv de rîu. Uneori problemele de proiectare a lucrărilor de regularizare sînt atît de complexe, încît nu pot fi rezolvate fără studii hidraulice pe modele la scară redusă.

În acest capitol, se vor enumera numai principalele studii care sînt necesare la proiectarea şi execuţia lucrărilor de îndiguire şi regularizare a albiilor rîurilor, fără să se intre în detalii asupra conţinutului lor, care de altfel e dictat de specificul fiecărui rîu în parte.

6.1. Studii topografice

— Planul de situaţie al sectorului de rîu pe care urmează a se executa lucrările de regularizare la scara 1 : 5000—1 : 1000 cu curbe de nivel echidistante la 0,25—0,50 m.

— Profile transversale prin albia minoră şi albia majoră la distanţe de cca. (2—3)B, unde B este lăţimea albiei minore. În albia majoră, profilele transversale pot fi la distanţe mai mari, de ordinul a 500—700 m, în funcţie de gradul de accidentare. Scara pe verticală 1 : 100, scara pe orizontală — la scara planului de situaţie.

— Profilul longitudinal prin albia minoră, la scara 1 : 100 pe verticală, iar pe orizontală — la scara planului de situaţie, conţinînd linia talvegului, linia malurilor, nivelul apelor la data ridicării, nivelul apelor la viitura cea mai mare din ultimul timp, cota zero a mirelor hidrometrice etc.

— Planurile de situaţie şi orice alte ridicări topografice, reprezentînd configuraţia albiei în trecut, necesare pentru stabilirea evoluţiei fenomenelor morfologice şi pentru prognozarea lor.

6.2. Studii geotehnice

— Profile geologice prin albie (minoră şi majoră) în secţiuni caracteristice din care să rezulte stratificaţia terenului, caracteristicile materialului din care sînt alcătuite fundul şi malurile albiei (presiuni admisibile, unghiul de frecare interioară, panta admisibilă a taluzului).

— Curba granulometrică a straturilor de teren din zonă.

— Caracterizarea geotehnică a materialelor din zonă care pot fi folosite ca materiale de construcţie sau ca agregate pentru pregătirea betoanelor.

6.3. Studii hidrologice

— Hidrografele viiturilor cu debit la vîrf cu asigurare de calcul şi de verificare în secţiunile caracteristice pe sectorul de rîu care urmează a fi îndiguit şi regularizat, inclusiv pe afuenţi în zona de confluenţă. În cazul îndiguirilor la confluenţa a două rîuri se vor efectua studii hidrologice privind coincidenţa viiturilor şi se vor determina asigurările bidimensionale, conform metodicii expuse în capitolul 1.

— Hidrografele viiturii celei mai mari în ultimii ani sau din perioada de observaţie. Nivelurile maxime observate pe sectorul propus pentru îndiguire, debitele măsurate, supraînălţările de nivel produse la podurile existente în zonă, date cu privire la comportarea podurilor şi altor construcţii în zonă.

— Debitele maxime cu asigurare de calcul şi de verificare în regim natural (sau actual) pe sectorul propus pentru îndiguire şi nivelurile corespunzătoare. Debitele atenuate în luncă la viiturile cu asigurare de calcul şi de verificare.

— Nivelul maxim cu asigurarea 5%, nivelul mediu şi nivelul minim cu asigurarea 80%, în cîteva secţiuni caracteristice în albia rîului, în vederea stabilirii zonelor de inundaţie a malurilor, caracteristice lucrărilor de regularizare a albiei.

— Debitul maxim cu asigurare 5%, debitul mediu şi debitul de formare a albiei (debitul care umple albia minoră) în vederea determinării vitezelor curentului apei în secţiuni caracteristice.

— Hidrograful nivelurilor, curba de durată şi curba de frecvenţă a nivelurilor pentru un an ploios, în vederea determinării numărului probabil de zile în care se pot executa la uscat diverse lucrări de regularizare.

— Date privind debitul solid tîrît şi în suspensie, pe rîu la viituri şi la debite medii.
— Date privind stabilitatea albiei în zonă.
— Curba granulometrică a aluviunilor de pe patul albiei.

6.4. Studii hidraulice

Studiile hidraulice se efectuează prin calcule şi, în cazul unor sectoare importante de rîuri, prin încercări experimentale pe modele hidraulice în condiţii de laborator.

Studiile hidraulice prin calcule se referă la determinarea regimului hidrologic modificat prin amenajări al rîului respectiv pe sectorul propus pentru îndiguire şi regularizare (debite de calcul, niveluri corespunzătoare la asigurări de calcul şi de verificare), precum şi la stabilirea elementelor caracteristice ale albiei regularizate (debite de formare, secţiune de echilibru, morfologic, traseu stabil etc.) şi a parametrilor de funcţionare a construcţiilor de regularizare propuse (viteze maxime, adîncimi de afuiere etc.).

Studiile hidraulice pe bază de încercări pe model în condiţii de laborator se referă, în principal, la stabilirea schemei de regularizare şi îndiguire a albiei rîului, la dimensionarea lucrărilor de regularizare şi la prognozarea fenomenelor morfologice în albie în regim modificat. Lucrările de regularizare a albiilor rîurilor pun probleme atît de complexe, încît sîntem nevoiţi să apelăm la metoda modelării hidraulice, cel puţin în cazurile în care aceste lucrări afectează obiective economice importante sau necesită investiţii mari.

7. Indicații privind executarea și întreținerea lucrărilor de regularizare a albiilor rîurilor

7.1. Executarea lucrărilor de regularizare și îndiguire a albiilor rîurilor

— Lucrările de regularizare a albiilor rîurilor se execută din aval spre amonte. Lucrările începute pe un tronson trebuie să fie duse pînă la faza la care nu sînt deteriorate de viiturile de primăvară.

— Executarea lucrărilor de regularizare a albiilor să se facă în perioada apelor mici, vara, toamna și iarna. Digurile de apărare se execută în afara perioadelor de inundație.

— Executarea lucrărilor este precedată de trasarea lor și de stabilirea ordinii de punere în operă a diverselor materiale. La apărările de mal execuția lucrărilor începe cu realizarea fundației, a banchetei de sprijin din zonele 1 și 2 și continuă cu lucrările din zonele 3 și 4.

Digurile longitudinale se execută în același fel, de obicei din aval spre amonte.

Epiurile se execută de la mal spre albie și se desfășoară în ordinea firească de punere în operă a materialelor.

Tăierile de coturi se execută „la uscat", lăsînd două dopuri în capetele amonte și aval ale noii albii. Concomitent se execută și unele lucrări de fixare a malurilor albiei rectificate (anrocamente îngropate pe linia malurilor definitive) dacă există pericolul ca noua albie să divagheze. Ultima operație constă în desfacerea dopurilor, întîi cel din aval, apoi cel din amonte.

Închiderile de albie se execută cu foarte mare prudență, numai după ce s-au asigurat condițiile de dezvoltare a albiei noi. Se execută mai întîi salteaua de fascine, apoi se execută sulul de fascine care se așterne pe toată lățimea albiei și apoi anrocamentele de piatră. Traversele se execută după execuția închiderii.

Pragurile de fund se execută de obicei în etape, prin apărarea zonei de lucru cu batardouri și strangularea secțiunii de curgere a curentului.

7.2. Întreţinerea lucrărilor de regularizare a albiilor

În regulamentul de intrare în funcţiune şi dare în exploatare trebuie să se prevadă o serie de reguli şi măsuri pentru întreţinerea lucrărilor de regularizare. Dintre acestea menţionăm:

— Paza şi supravegherea lucrărilor de regularizare de către organul de gospodărire a apelor pe teritoriu sau de organul sau unitatea care beneficiază direct de pe urma realizării acestor lucrări. În fiecare an după trecerea viiturilor se inspectează lucrările de regularizare, se identifică eventualele degradări şi se iau imediat măsuri de refacere. În timpul viiturilor de asemenea se supraveghează comportarea lucrărilor de regularizare şi în cazuri excepţionale cînd acestea cedează, se iau măsuri urgente de limitare a degradărilor.

— Reparaţii curente şi reparaţii capitale, care se fac ca urmare a degradării mărunte sau a unor degradări importante survenite şi identificate.

— Un principiu de bază care trebuie respectat la întreţinerea lucrărilor de regularizare este acela al intervenţiei imediate pentru repararea degradărilor identificate; orice întîrziere poate scumpi foarte mult lucrările de reparaţie şi de refacere şi se poate solda cu pagube mari.

— Măsurile de intervenţie pentru limitarea degradărilor se adoptă în funcţie de natura acestor degradări şi de materialele şi mijloacele avute la dispoziţie. De exemplu, în cazul degradărilor apărute la apărările de mal sau la digurile longitudinale este indicat să se intervină cu anrocamente în cantităţi suficiente pentru acoperirea breşelor respective. Diametrul anrocamentelor trebuie să depăşească valoarea corespunzătoare vitezei de antrenare (relaţia 1.4). În cazul în care se dispune de piatră măruntă sau de piatră de rîu, este recomandabil să se folosească gabioane din plasă de sîrmă, pregătite în prealabil de către organul de întreţinere a lucrărilor.

În cazul rîurilor de şes cu viteze ale curentului relativ mici, se pot folosi ca lucrări de intervenţie pentru repararea şi limitarea degradărilor, garduri de nuiele simple şi duble, copaci lestaţi, saci cu nisip şi altele.

Degradările apărute în pragurile de fund sau la traverse şi închideri de albie sînt mai greu de limitat în perioada viiturilor. De aceea, refacerea acestor lucrări, are loc după trecerea viiturilor.

Bibliografie

1. Altschul A. .D — Ghidravliceskie poteri na trenie v truboprovodah Moscova, 1963.
2. Altunin S. T. — Regulirovanie rusel. Moscova, 1956.
3. Bătucă D. — Modele stochastice pentru studiul fenomenelor aluvionare. Hidrotehnica, vol 18, nr. 8, 1973.
4. Bogardi J. L. — Channel Stability and Sediment Movement. Al VI-lea Congres de hidraulică şi construcţii hidrotehnice, Padova, 1959.
5. Chang F. M. — Total Bed- Material Discharge in Alluvial Channels. Al VII-lea Congres A.I.R.H., Colorado, 1967.
6. Chien N. — The Present Status of Research on Sediment Transport Proc. ASCE, New-York, 80, sep. dec. 1954.
7. Chin C. L. — Stochastic Model of Motion of Solid Particles. Proc. ASCE, New-York, 93 (Hy., 5), sep. 1967.
8. Dan Eugen. — Regularizări de rîuri, Partea I, Ed. Didactică şi Pedagogică Bucureşti, 1964.
9. Diaconu C. — Debitul solid pe rîurile R.S.R. Lucrare de doctorat 1970.
10. Emmett W. W. Leopold L. B. — Geometry of river channels. Discussion J. Hydr. Div. Proc. Am. Soc. Ci . Engrs., 90, No. Hy 5, 1964.
11. Garde R. J., Albertson M. I. — Sand waves and regimes of flow in alluvial channels — Congresul A.I.R.H., Montreal, 1959.
12. Goncearov G. N. — Dinamika ruslovh potokov, Ghidrometeoizdat Leningrad, 1962.
13. Grinko R. I. — Teoria i opît kapitalnîh vîpravitelnîh rabot na Dnepre. Kiev, 1962.
14. Grisanin K. V. — Dinamika ruslovih potokov, Ghidrometeoizdat Leningrad, 1969.
15. Hâncu S. — Sur l'instabilité de tracé rectiligne du lit des rivières. VIII-e Journées de l'hydrauliyue, Lille, 1964.
16. Hâncu S. — Modelarea hidraulică în curenţi de aer sub presiune. Ed. Acad. R.S.R., Bucureşti, 1967.
17 Hâncu S., Predescu L., Novotny P., Model de calcul privind dimensionarea lucrărilor de regularizare a albiilor în zona amenajărilor hidroameliorative. Analele I.C.I.F. Seria hidrotehnică, vol. I. 1967.
18. Hâncu S., Predescu L., Marinescu V. — Sur le mouvement des fluides autour d'une plaque plane, C.R. Acad. Sc. Paris, 269, 1969.
19. Hâncu S., Stănescu P., Platagea Gh. — Hidrologia agricolă. Ed. Ceres Bucureşti 1971.
20. Hâncu S. — Folosirea funcţiilor de distribuţie multidimensionale la rezolvarea unor probleme de hidrologie şi hidraulică a rîurilor, Hidrotehnica 1, 1972, Bucureşti.

21. Hâncu S. Duma D., Dan P. — Simularea numerică a viiturilor pe Dunăre în regim actual, Hidrotehnica, 6, 1975, Bucureşti.
22. Hâncu S. Predescu L., Marinescu V., Cu privire la mişcarea fluidelor în jurul unor reţele de plăci plane. Studii şi cercetări de mecanică aplicată, 3, 1970.
23. Hâncu S. — Folosirea principiilor variaţionale în studiul proceselor de albie. Sesiunea ştiinţifică a Institutului de construcţii Bucureşti, 1971.
24. Hâncu S. — Calcul hidraulic al podurilor. Studii de hidraulică I.S.C.H. 1964.
25. Henderson F. M. — Stability of alluvial channels. Journal of the Hydraulics Division, P.A.S.C.E., vol. 87, Hy 6, 1961, Part. I.
26. Ibad — Zade Iu. A. — Ghidravlika spriamlenii izlucin rek. Baku, 1961.
27. Ionescu Siseşti Dan, Belecciu St. — Regularizarea rîuriilor Ed. Didactică şi Pedagogică 1965.
28. Karausev A. V. — Ghidravlika rek i vodohranilişiei Ghidrometeoizdat Leningrad, 1955.
29. Knoroz V. S. — O deformaţiah dna i o vlianii ih na ghidravliceski-regim potokov. Trudî III. Vsesoinznogo ghidrologiceskogo siezda, Leningrad, 1960.
30. Koriukin S. N. — Regulirovanie rusel rek v meliorativnîn ţeliah, Moscova, 1972.
31. Langbein W. B. — Geometry of river channel, Proc. ASCE, vol. 90, Hy, 2, march 1964, part. 1.
32. Levi I. I. — Injernaia ghidrologhia, Izd. Vişaia Şkola Moscova, 1968.
33. Levi I. I. — Dvijenie recinîh potokov v nijnih biefah ghidrotehniceskih soorujenii Gosenergoizdat Moscova, 1955.
34. Lopatin G. V. — Nanosî rek SSSR, Ghidrometeoizdat Moscova, 1952.
35. Mamak W. — River regulation Warszawa, 1964.
36. Manoliu I. A. — Regularizări de rîuri şi căi navigabile interioare. Ed. Tehnică, Bucureşti, 1973.
37. Manoliu I. A., Pop R. A., Wisner P., Belecciu St. — Regularizări de rîuri. Manualul inginerului hidrotehnician. Secţiunea XV. Ed. tehnică, Bucureşti, 1970.
38. Mateescu Cristea. — Hidraulica. Ed. Didactică şi Pedagogică Bucureşti, 1963.
39. Meyer Peter, Müller R. — Formulas for Bed-Load Transport, Congresul II AIRH, Stockholm, 1948.
40. Nagy I. V. Karadi V., Kalmar Gy. — A study into the incipient stage of bed-load movement. Al. VI-lea Congres de hidraulică şi construcţii hidrotehnice. Padova, 1959.
41. Predescu L., Ionescu Sişeşti Dan. — Studii hidraulice privind priza de apă pentru irigaţii pe rîul Argeş la Clăteşti. Analele ICIFP, Seria Hidrotehnică vol. I, 1967.
42. Quesnel Bernard. — Traité d'hydrauliyue fluviale appliqée. Ed. Eyrolles, Paris.
43. Rozovskii I. L. — Viznacenia poperecinih şvidkostei na povoroti rusla. „Visiti Institutu ghidrologhii i ghidrotehniki An URSR", T. 6 (13) 1950.
44. Scheidegger A. E. — Theoretical Geomorphology. Göttingen. 1961.
45. Shen H. W. — River Mechanics, vol. I—II, Fort Collins, Colorado, U.S.A., 1971.

46. S h i e l d s A. — Anwendung der Aehnlichkeitsmechanik und der Turbulenzförshung auf die Geschiebewegung. Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Heft, 26, Berlin, 1936.
47. S i m o n s B. D., A l b e r t s o n M. L. — Uniform water conveyance channels in alluvial material. Proc. ASCE, v. 86 n, Hy 5, may 1960.
48. V e i g a d a C u n h a L. — Evoluçao actual dos conceitos sobre transporte sólido em escoaments con superficie livre. Lisboa, 1969.
49. V e l i k a n o v A. M. — Ruslovoi proțess Izd. Fiz. Mat. Literaturî Moscova, 1958.
50. V e n t e C h o w. — Handbook of applied hydrology. Section 17-II, Part II, River sedimentation, by Hans Albert Einstein, New York, 1964.
51. Y a l i m S e l i m. — Geometrical properties of sand waves. Proc. ASCE. vol. 90, n Hy 5, 1964, Part. 1.
52. Z a m b a h i d z e G. I. — Dvijenie realnoi jidkosti i tverdîh tel na krivolineinîh uciastkah rek. Tbilisi, 1967.
53. Z n a m e n s k a i a N. S. — Exsperimentalnoe issledovanie griadovogo dvijenia nanasov. Trudi G.G.I. Vîp. 108, 1963.
54. Z a h a r e s c u E. L a t e ş M. — Apărarea malurilor şi protejarea taluzelor. Ed. „Ceres". Bucureşti, 1972.
55. C. S. A. — I. P. A. C. H. — Proiect directiv. Elemente de construcție utilizate la regularizarea albiei rîurilor, Bucureşti 1965.

Cuprins

Bun de tipar 30. VIII. 1976. Apărut 1976. Tiraj 2 170 ex. Coli editoriale 7,40. Coli de tipar 9. C. Z. pentru bibliotecile mari 627.1. C. Z. pentru bibliotecile mici 627

Intreprinderea poligrafică Sibiu
Șos. Alba Iulia nr. 40
Sibiu — Republica Socialistă România
Comanda nr. 132



La realizarea lucrărilor de regularizare a albiilor rîurilor din țara noastră, în volumul și în ritmul stabilite de Conducerea superioară de partid sînt chemați să participe toți cetățenii țării. Este o acțiune patriotică pentru reușita căreia răspundem în primul rînd noi, cei care stabilim soluțiile și întocmim proiectele tehnice.

Apele rîurilor ascultă de oameni, dacă oamenii le cunosc și știu cum să le îmblînzească, să le schimbe cursul format de milenii, să le folosească, dar se răzbună pe oameni, dacă aceștia acționează în neștiință, nesocotind legile după care ele se adună și curg.

Prof. dr. doc. ing.